

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE

**Hodnocení parametrů drsnosti po obrábění
kalených ocelí**

**Evaluation of the Roughness Parametres for Machining
Hardened Steels**

Student:

Bc. Vlastimil Hloušek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Vlastimil Hloušek

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Hodnocení parametrů drsnosti po obrábění kalených ocelí
Evaluation of the Roughness Parameters for Machining Hardened Steels

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky stanovování drsnosti povrchu.
2. Návrh experimentální části práce.
3. Provedení experimentu a měření parametrů drsnosti.
4. Vyhodnocení měření a přínosů pro praxi.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v trieskovom obrábění*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

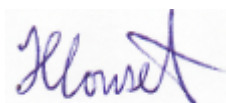

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce, uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 14. 5. 2013



.....
Bc. Vlastimil Hloušek

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 14. 5. 2013



Bc. Vlastimil Hloušek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pitínská 971

687 71 Bojkovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HLOUŠEK, Vlastimil.: *Hodnocení parametrů drsnosti po obrábění kalených ocelí*. Diplomová práce. Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, 57 s. Vedoucí práce: Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu řezných parametrů na kvalitu obrobeného povrchu. Cílem diplomové práce je ověřit teoretické předpoklady vlivu rychlosti posuvu a řezné rychlosti na vzniklou kvalitu povrchu. Úvodní část práce se zabývá problematikou stanovování drsnosti povrchu a vysokorychlostním obráběním. V experimentální části jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty drsnosti povrchu spolu s jejich vyhodnocením. Materiály použité na vzorky při experimentu byly ocel 12 050.1 (1.1191), 19 522 (1.2343) a 19 573 (1.2379).

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

HLOUŠEK, Vlastimil.: *Evaluation of the Roughness Parameters for Machining Hardened Steels*. Diploma thesis. Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB –Technical University of Ostrava, 2013, 57 p. Thesis head: Jana Petřů, Ph.D., multi MSc., M.A.

This thesis deals with the assessment of the influence of cutting parameters on the quality of the machined surface. The aim of this thesis is to verify theoretical assumptions influence of feed rate and cutting speed on the resulting surface quality. The introductory part deals with the determination of surface roughness and high-speed machining. The experimental part shows the measured and calculated values of the surface roughness, together with evaluation. Materials used in the experiment samples were steel 12 050.1 (1.1191) 19 522 (1.2343) and 19573 (1.2379).

Obsah

ÚVOD.....	10
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY STANOVOVÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU..	11
1.1 Kvalita povrchu.....	11
1.2 Profil povrchu.....	12
1.3 Hodnotící kritéria drsnosti povrchu	14
1.4 Značení drsnosti	19
1.5 Metody měření drsnosti povrchu	20
1.5.1 Kontrola porovnáváním s etalony drsnosti	20
1.5.1 Metoda světelného řezu	21
1.5.2 Metoda s využitím interference světla	21
1.5.3 Metoda měření pomocí dotykových profilometrů	22
1.5.2 Plošné hodnocení textury povrchu.....	23
2 VYSOKORYCHLOSTNÍ OBRÁBĚNÍ.....	25
2.1 Suché obrábění	27
2.2 Tvrdé obrábění	27
2.3 Aplikace HSC technologie.....	28
3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	30
3.1 Použitý materiál	30
3.2 Použitý stroj	35
3.3 Použitý nástroj.....	36
3.4 Použité zařízení pro měření drsnosti povrchu	37
3.5 Řezné parametry použité při experimentu	38
4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	40
4.1 Hrubé chyby	40
4.2 Nejistoty měření	41
4.3 Příklad výpočtu určení hrubé chyby a nejistoty měření.....	43
5 VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI POVRCHU	45

5.1	Materiál 12 050.1	45
5.2	Materiál 19 552	48
5.3	Materiál 19 573	50
ZÁVĚR.....		53
LITERATURA		54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	tažnost oceli	[%]
D	průměr stopky nástroje	[mm]
D ₁	řezný průměr nástroje	[mm]
Da	průměr upínacího otvoru	[mm]
HB	tvrdost podle Brinella	[-]
HRC	tvrdost podle Rorkwella	[-]
L	celková délka nástroje	[mm]
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Re	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
Rmr	materiálový poměr profilu drsnosti (nosný podíl)	[μm]
Rp	největší výška výstupku profilu	[μm]
Rq	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rsm	průměrná šířka prvků profilu	[μm]
Rt	celková výška profilu	[μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
Rz	největší výška profilu	[μm]
SNOP	soustava stroj – nástroj – obrobek – přípravek	[-]
U _C	rozšířená standardní nejistota	[μm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
Zp	nejvyšší výstupek profilu	[μm]
Zv	nejnižší prohlubeň profilu	[μm]

a_p	hloubka řezu	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
l	délka řezné hrany	[mm]
l_n	vyhodnocovaná délka profilu	[mm]
l_r	základní délka profilu	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
r	poloměr zaoblení špičky	[mm]
$s(x)$	směrodatná odchylka	[μm]
u_A	standardní nejistota typu A	[μm]
u_B	standardní nejistota typu B	[μm]
u_{B1}	nejistota vlivu opěrné patky snímacího hrotu	[μm]
u_{B2}	nejistota měřicího přístroje	[μm]
u_C	kombinovaná standardní nejistota	[μm]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
v_f	rychlost posuvu	[m.min ⁻¹]
z	počet zubů frézy	[-]
z_{lmax}	vliv nejistoty opěrné patky drsnoměru	[μm]
Φ	úhel stříhu	[°]
δ	úhel kluzu	[°]
$\lambda_c, \lambda_f, \lambda_s$	filtr profilu	[-]

ÚVOD

Kvalita povrchu má rozhodující vliv na jeho funkci a životnost. Stoupající požadavky na produktivitu a kvalitu výroby vyžadují, aby všechny součásti strojů a dalších zařízení byly vyrobeny v předepsaných tvarech a rozměrech s předepsanou přesností. V dnešní době je taky věnována stále větší pozornost vlivu kvality povrchu strojních součástí na jejich funkční vlastnosti. Nároky na kvalitu povrchu se neustále zvyšují, a proto je potřeba mít dostatečně přesnou a spolehlivou měřicí techniku.

Již v roce 1936 vydal G. Schmaltz knihu o technickém povrchu, která znamenala první pokus vědecky definovat nový obor, významný pro inženýrskou praxi. Práce autorů Schmaltze, Abbota a Linnika vyvolaly velký zájem o tvar a povrch nerovností, které vznikají po technologických operacích, a o jejich měření. Jedna z prvních metod hodnocení drsnosti povrchu byl Schmaltzův princip světelného řezu, který se však v dalších letech nezlepšoval. Ani optické porovnání drsnosti povrchu vzorku a měřeného předmětu (kvalitativní hodnocení) se dále nerozvíjelo. Bylo nutné vyřešit řadu problémů, jako je konstrukce snímače, velikost základní délky a v neposlední řadě volba vztažné čáry pro vyhodnocování základních charakteristik drsnosti povrchu. Nové technologie pro optické snímání struktury povrchu spolu se synergií s výrobci přístrojů pro vyhodnocování kvality povrchu 2D i 3D, metrology, programátory zabývajícími se zpracováním dat a jejich kvalitním zobrazením znamenaly v posledních letech definování nových norem. Umožnily významný skok kupředu při získávání informací o povrchu, preciznější vizualizaci a analýzu kvality povrchu s významným dopadem pro všechny výrobní technologie. [3] [6]

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu řezných parametrů na kvalitu obrobeného povrchu. Vzorky pro měření byly obrobeny ve spolupráci s Žilinskou univerzitou v Žilině na katedře obrábění a výrobní techniky. Materiály použité na vzorky při experimentu byly ocel 12 050.1 (1.1191), 19 522 (1.2343) a 19 573 (1.2379). Měření drsnosti povrchu probíhalo v prostorách VŠB – TUO přístrojem pro měření drsnosti od firmy MITUTOYO s označením SurfTest SJ-401. Cílem diplomové práce je ověřit teoretické předpoklady vlivu rychlosti posuvu a řezné rychlosti na vzniklou kvalitu povrchu.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY STANOVOVÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU

S rozvojem vědy a techniky a s uplatňováním jejich výsledků má stále větší význam problematika kvality strojních součástí. Její důležitost vychází z požadavků snižování hmotnosti dynamicky namáhaných součástí. Pod pojmem kvalita z hlediska technologie výroby je třeba chápat přesnost geometrického tvaru, polohy a drsnosti povrchu. K těmto hodnotám přistupuje ještě sledování chemických a fyzikálních změn vlastností materiálu v povrchové vrstvě. Kvalita povrchu, tj. drsnost (mikrogeometrie) povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy, ovlivňují velmi výrazně životnost a spolehlivost provozu součástí. Na drsnosti povrchu závisí přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, doba záběhu, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi apod. Drsnost povrchu tedy ovlivňuje průběhy chemických a fyzikálních jevů, které provázejí činnost funkčního povrchu dané součásti. [2]

1.1 Kvalita povrchu

Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ní zanechá břit nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na kvalitě, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách, zejména na velikosti posuvu a na řezné rychlosti. Drsnost povrchu dosahovaná při obrábění může být dále ovlivňována tuhostí soustavy stroj – nástroj-obrobek, způsobem upínání obrobku, řeznou kapalinou, třením třísky a nástroje o obrobený povrch, opotřebením nástroje apod.

Význam vhodného povrchu se projevuje tam, kde vzájemný systém funkčních ploch významně ovlivňuje chování nějakého fyzikálního procesu. Při definování a optimalizování takového systému je nutné vzít v úvahu povrchy funkčních ploch a jejich odpovídající charakteristiky. Není možno řešit základní výzkum v oblasti přestupu tepla, korozní únavy, velikost stykové plochy bez znalostí skutečné plochy v jejích třech rozměrech.

Podrobné znalosti problematiky kvality povrchu a jejího hodnocení mají význam v tom, že vedou ke zpřesnění požadavků na funkční plochy při jejich navrhování, přispějí

ke stanovení technologických parametrů při výrobě, stejně jako k dalšímu hodnocení textury povrchu při výzkumu, laboratorních zkouškách a využití. Přesná a jasná specifikace textury povrchu má dnes význam především z hlediska náročných požadavků spolehlivosti. [2]

Pod pojmem kvalita z hlediska technologie výroby je třeba chápat přesnost:

- Rozměrů
- Geometrického tvaru
- Polohy
- Drsnosti povrchu.

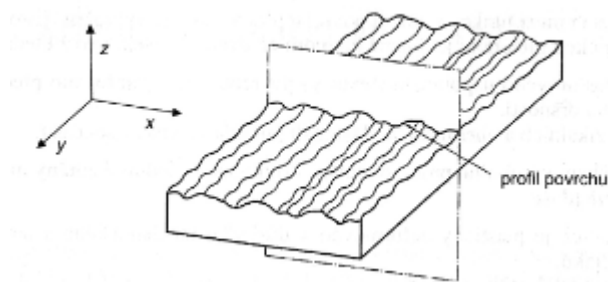
Integrita povrchu

Pojem zahrnuje podmínky, za jakých byl povrch vyroben, bere do úvahy technologické metody a jejich vliv na vlastnosti plochy po obrobení a dává je do vztahu se zadanými požadavky. Nejvýznamnější nejčastěji sledované kvalitativní ukazatele, podle kterých se posuzuje technologická vlastnost obrobených ploch lze považovat:

- Makrogeometrii obrobené plochy
- Mikrogeometrii obrobené plochy
- Změny fyzikálně – mechanických vlastností povrchové vrstvy (tvrdost, zpevnění)
- Fyzikálně chemický stav povrchu
- Zbytkové napětí pod obrobeným povrchem

1.2 Profil povrchu

Nerovnosti na povrchu, které vznikají po libovolné technologické operaci, představují prostorový útvar, který lze velmi obtížně posuzovat. Problém hodnocení mikrogeometrie povrchu (drsnosti) je obvykle řešen redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu (*obr. 1*). V rovině řezu je získán profil, který je základním zdrojem informací pro posuzování textury povrchu. Na druhé straně je nutné si uvědomit, že existují metody pro 3D hodnocení textury povrchu, a to zejména při použití bezdotykového hodnocení drsnosti povrchu. [6]



Obr. 1 Profil povrchu [6]

V souladu s novým pojetím geometrické specifikace výrobků (GPS) se v současné době **nerovnost povrchu** člení podle velikosti rozteče příslušných nerovností na tyto složky:

- Drsnost povrchu – složka s nejmenší roztečí nerovností
- Vlnitost povrchu
- Tvar povrchu

Norma ČSN EN ISO 4287 definuje následující geometrické parametry:

R – parametr vypočítaný z profilu drsnosti,

W – parametr vypočítaný z profilu nerovnosti,

P – parametr vypočítaný ze základního profilu.

Základním zdrojem informace je profil (profilová metoda). Normou ČSN EN ISO4287 jsou definovány tyto základní pojmy:

Profil povrchu – průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.

Snímaný profil – geometrické místo středů snímacího hrotu stanovených parametrů (od něj jsou odvozeny ostatní profily).

Referenční profil – dráha, po které se snímač podél vedení pohybuje v rovině řezu.

Základní profil – úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru λ_s . Reprezentuje základnu pro číslicové zpracování profilu pomocí filtru profilu a pro výpočet a hodnocení parametrů profilu. Základním profilem není tvar získaný metodou nejmenších čtverců.

Zbytkový profil – základní profil získaný snímáním ideálně hladkého a rovného povrchu (optická rovina). Zbytkový profil se skládá z odchylek vedení, vnějších a vnitřních poruch a odchylek vzniklých při přenosu profilu.

Profil drsnosti – profil odvozený ze základního profilu potlačením složek použitého filtru profilu λ_c . Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů drsnosti.

Profil vlnitosti – profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru λ_c na základní profil.

Základní délka profilu (l_r) je délka ve směru osy x použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil drsnosti. Číselně je rovna charakteristické vlnové délce profilového filtru drsnosti.

Vyhodnocovaná délka (l_n) je délka ve směru x použitá pro hodnocení posuzovaného profilu. Vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu nebo několik základních délek.

Filtrace

Filtrace je proces odstraňování nežádoucích složek profilu. Hodnota, která odděluje dlouhovlnné složky od krátkovlnných se nazývá mezní vlnová délka filtru (cut-off) (viz ČSN EN ISO11562:1996). [8]

Filtry profilu

Filtr λ_s – definuje rozhraní mezi drsností a krátkovlnnými složkami,

Filtr λ_c – určuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti,

Filtr λ_f – určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami přítomnými na povrchu.

1.3 Hodnotící kritéria drsnosti povrchu

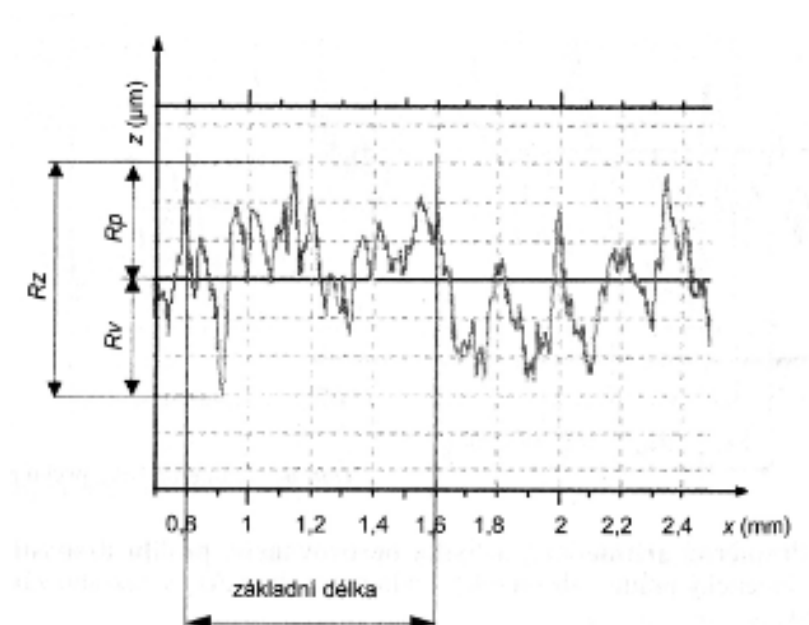
Tvar mikrogeometrických nerovností obrobeného povrchu je velmi rozmanitý. Aby bylo možné hodnotit drsnost povrchu, byla přijata evropská norma ČSN EN ISO 4287, která uvádí mimo jiné následující definice parametrů:

Drsnost povrchu je definovaná jako část geometrických odchylek s relativně malou vzdáleností nerovností. Tím se odlišuje od makrogeometrie a vlnitosti povrchu.

Největší výška výstupků profilu drsnosti (R_p) je výška (Z_p) nejvyššího výstupku profilu drsnosti v rozsahu základní délky ve směru osy z (*obr. 2*)

Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti (R_v) je hloubka (Z_v) nejnižší prohlubně profilu drsnosti v rozsahu základní délky (*obr. 2*)

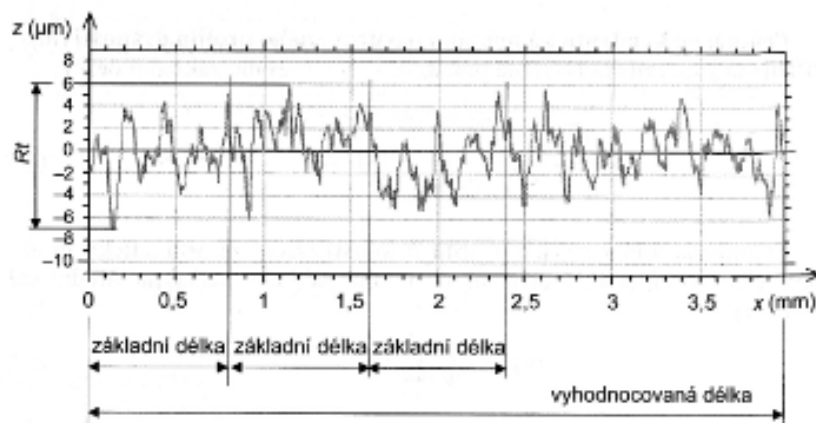
Největší výška profilu drsnosti (R_z) je součet výšky (Z_p) nejvyššího výstupku profilu a hloubky (Z_v) nejnižší prohlubně profilu drsnosti v rozsahu základní délky (*obr. 2*)



Obr. 2 Parametry R_p , R_v , R_z [6]

Průměrná výška prvků profilu drsnosti (R_c) je průměrná hodnota výšek (Z_t) prvků profilu drsnosti v rozsahu základní délky.

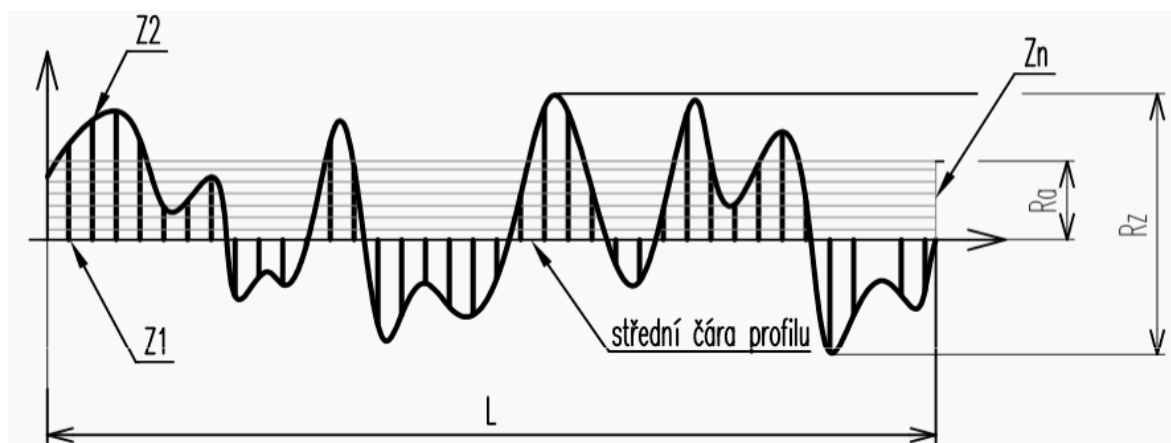
Celková výška profilu drsnosti (R_t) je součet výšky (Z_p) nejvyššího výstupku profilu a hloubky (Z_v) nejnižší prohlubně profilu drsnosti v rozsahu vyhodnocované délky (*obr. 3*).

Obr. 3 Parametr R_t [6]

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu drsnosti (R_a) je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i| = \frac{|Z_1| + |Z_2| + |Z_3| + \dots + |Z_n|}{n} \quad (1)$$

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (2)$$

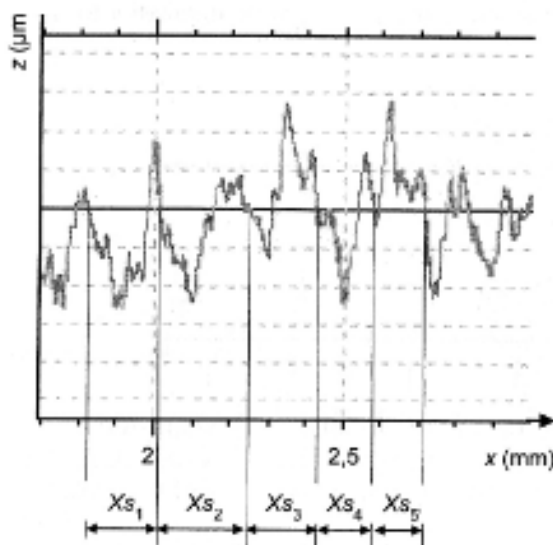
Obr. 4 Parametry R_a , R_z [6]

Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu drsnosti (R_q) je průměrná kvadratická hodnota $Z(x)$ v rozsahu základní délky:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^2(x)| dx} \quad (3)$$

Průměrná šířka prvků profilu drsnosti (R_{sm}) je aritmetický průměr šířek (X_s) prvků profilu drsnosti v rozsahu základní délky na střední čáře (*obr. 5*).

$$R_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (4)$$

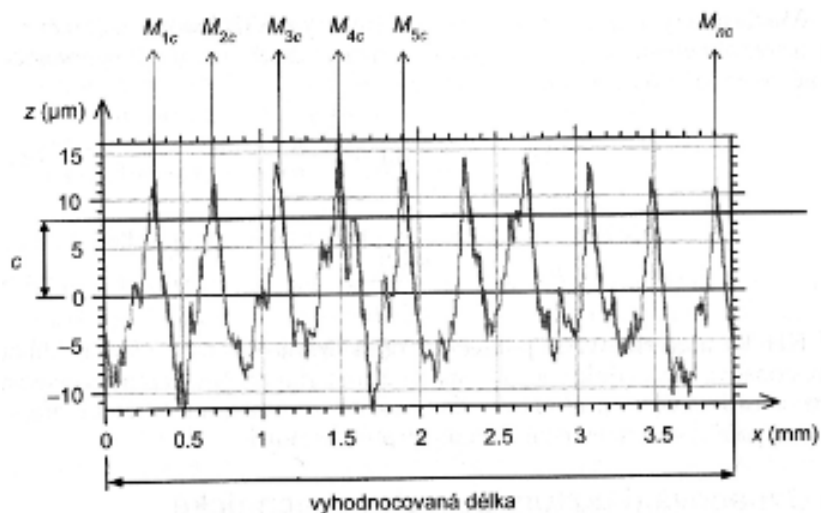


Obr. 5 Průměrná šířka prvků profilu [6]

Materiálový poměr profilu drsnosti (nosný podíl) $R_{mr}(c)$ je poměr délky materiálu elementů profilu $Ml(c)$ na dané úrovni c k vyhodnocované délce (*obr. 6*) při které platí, že:

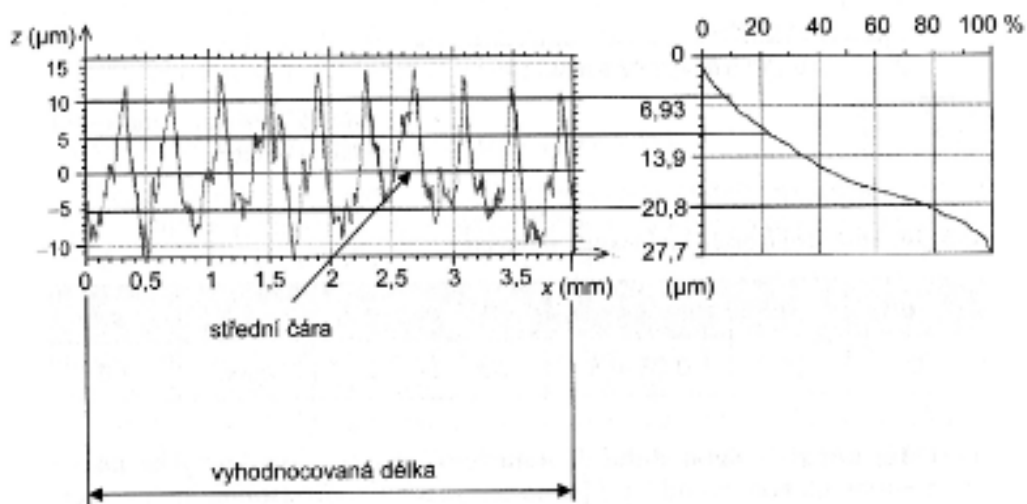
$$Ml(c) = \sum_{i=1}^n M_i(c) \quad (5)$$

$$Rmr(c) = \frac{Ml(c)}{ln} \quad (6)$$



Obr. 6 Materiálový poměr profilu [6]

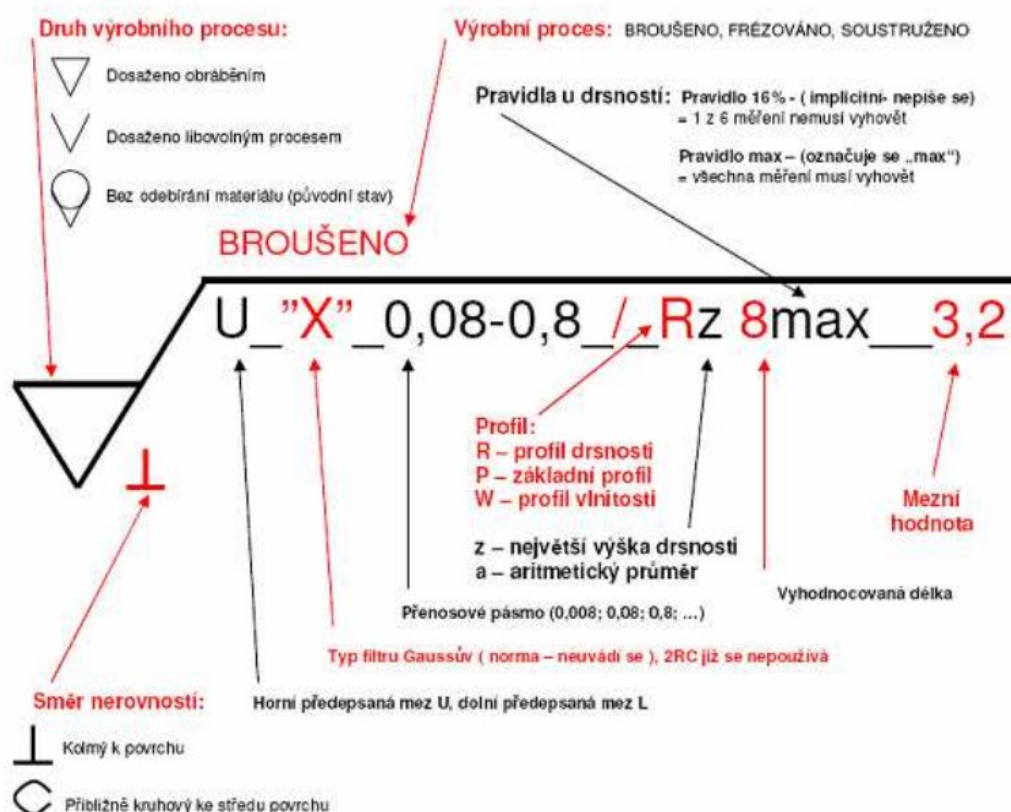
Křivka materiálového poměru profilu drsnosti (nosná křivka, Abbott Firestoneova křivka) je křivka představující materiálový poměr profilu drsnosti v závislosti na výšce profilu (obr. 7). Sestaví se vynesením hodnot materiálového podílu v rozsahu celé hloubky profilu drsnosti.



Obr. 7 Nosná křivka [6]

1.4 Značení drsnosti

Na *obr. 8* je zobrazeno kompletní značení drsnosti povrchu podle normy ČSN EN ISO 1302.



Obr. 8 Značení drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 1302

U **pravidla 16%** platí, že pro parametry specifikované horní mezí parametru (U) jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže hodnotu uvedenou na výrobní dokumentaci přesáhne maximálně 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů. Pro parametry specifikované dolní mezí parametru (L) jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže hodnoty uvedené na výrobní dokumentaci nedosáhne maximálně 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů. Při stanovení horní a dolní meze parametru se používá značka parametru bez indexu „max“. [6]

Pravidlo maxima stanovuje, že při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z naměřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přesáhnout hodnotu uvedenou ve výrobní dokumentaci. Při

stanovení největší dovolené hodnoty parametru se značka parametru doplňuje indexem „max“. [6]

1.5 Metody měření drsnosti povrchu

Metody kontroly drsnosti povrchu lze rozdělit na metody kvalitativní a kvantitativní. Kvalitativní metody jsou založeny na porovnání kontrolovaného povrchu s povrchem vzorovým, jehož drsnost je známa. Porovnávat můžeme pouze povrchy opracované stejným, nebo podobným způsobem obrábění. Metody kvantitativní vyjadřují drsnost povrchu číselně.

1.5.1 Kontrola porovnáváním s etalony drsnosti

Metoda je založena na porovnávání drsnosti povrchu součásti s drsností etalonů buď pouhým okem, nebo pomocí mikroskopu, popř. optického komparátoru. Tato metoda není příliš přesná. Při měření je nutno dodržet tyto podmínky:

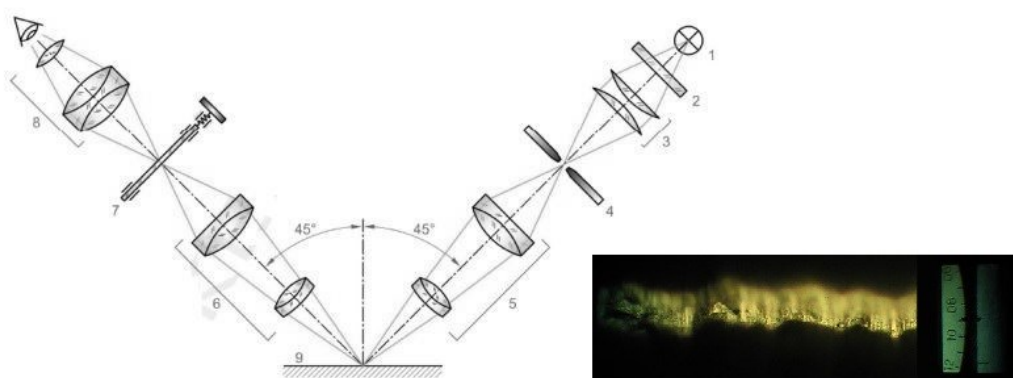
- materiál etalonu a měření součásti by měl být stejný (alespoň co se týče barvy),
- stejný tvar povrchu etalonu a měřené součásti (vypuklý, vydutý, plochý),
- povrch etalonu a součásti byl získán stejnou technologií obrábění,
- stejné podmínky pozorování (osvětlení). [8]



Obr. 9 Vzorkovnice etalonů frézovaných povrchů [4]

1.5.1 Metoda světelného řezu

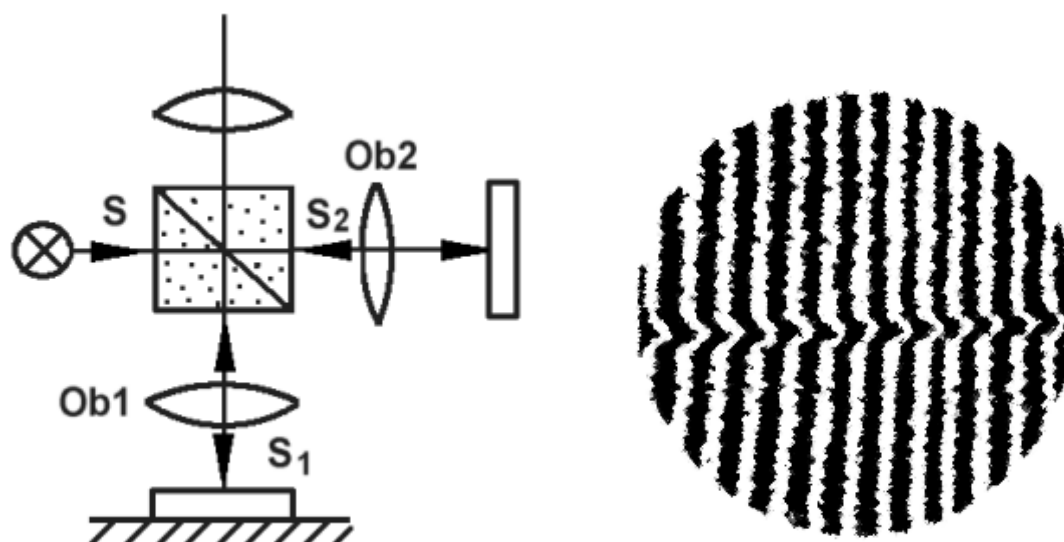
K měření touto metodou se používá nejčastěji dvojitého mikroskopu Schmaltz. Rovnoběžný svazek paprsků omezený štěrbinou do tvaru velmi tenké světelné roviny je promítán optickým systémem pod úhlem 45° na měřený povrch. Průnikem této roviny nerovnostmi povrchu vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovnosti plochy, který má většinou tvar světlozelené stužky ve tmavém poli mikroskopického obrazu (*obr. 10*). Dvojité mikroskopy umožňují volbu zvětšení výměnou objektivu a okuláru. Rozsah použití těchto měřicích mikroskopu je omezený. Metoda je limitována dobrou odrazivostí materiálu hodnoceného povrchu součásti [8]



Obr. 10 Metoda světelného řezu [5]

1.5.2 Metoda s využitím interference světla

Tato metoda se využívá pro měření drsnosti povrchu velmi jemně obrobených ploch (broušené, lapované, superfíníšované plochy). Princip této metody spočívá ve skládání vln, které mají stejnou frekvenci a konstantním fázovým posuvem (koherentní vlnění), čím se dosáhne využití jednoho zdroje, když se světlo rozdělí a opět spojí. Interference se v okuláru jeví jako soubor světlých a tmavých křivek (*obr. 11*). [5]

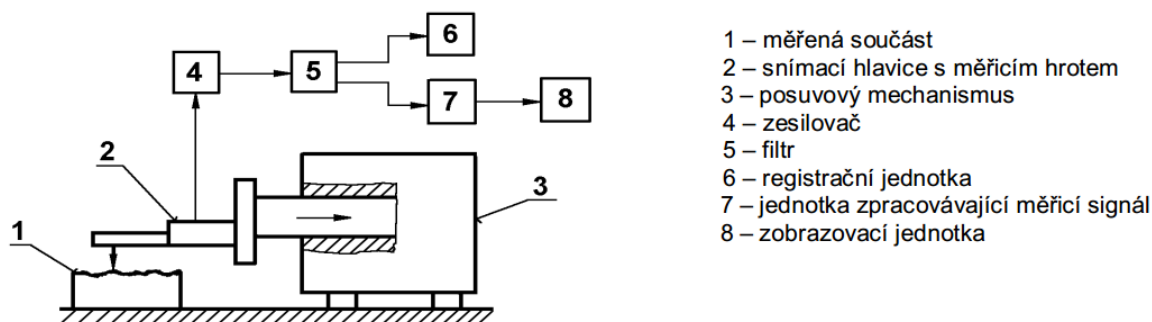


Obr. 11 Interferenční mikroskop a obraz v okuláru (vpravo)

Paprsek S jde ze zdroje světla na polopropustné zrcadlo vytvořené ve skleněném hranolu, kde se rozdělí na dva paprsky. Paprsek S_1 jde na povrch měřené součásti a zpět, paprsek S_2 jde na odražené zrcadlo, kde se odráží zpět. Oba tyto paprsky se spojí (interferují) a jdou do okuláru mikroskopu.

1.5.3 Metoda měření pomocí dotykových profilometrů

Při tomto způsobu zjišťování drsnosti se po povrchu pohybuje měřící dotyk s malým poloměrem hrotu (většinou $2 - 10 \mu\text{m}$), který je součástí snímače založeného na principu indukčním, nebo piezoelektrickém. Pohyb snímacího hrotu musí být velmi přesný co do přímosti a rovnoměrnosti. Rychlost musí být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému (nepoškození povrchu, věrné snímání nerovnosti). Vychýlování měřícího dotyku vyvolává změnu elektrických veličin, které se zaznamenávají a zpracovávají ve vyhodnocovací jednotce. [5][8]



Obr. 12 Dotykový profilometr [8]

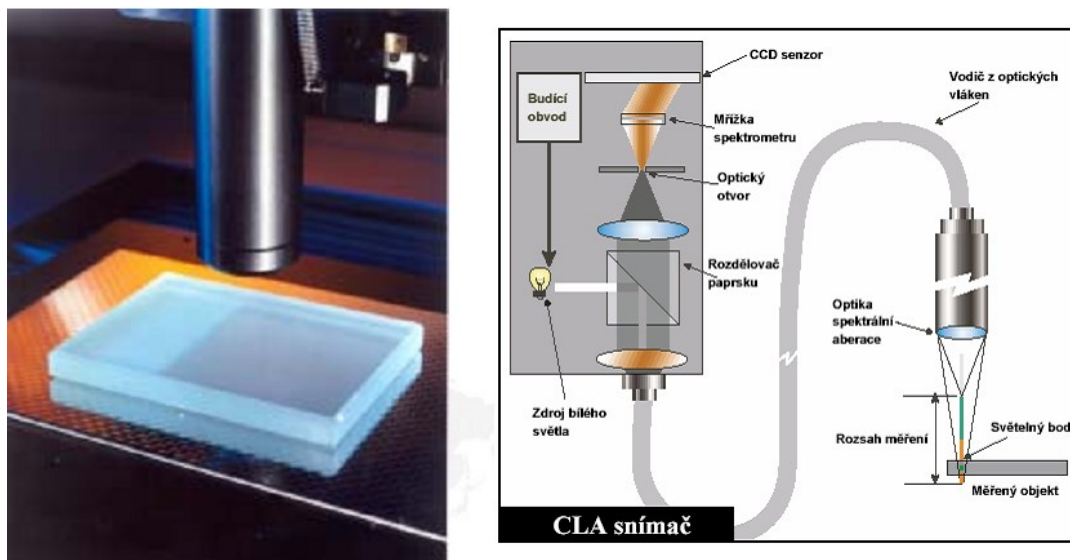
1.5.2 Plošné hodnocení textury povrchu

Třírozměrná hodnocení textury povrchu (3D) vyžaduje aplikaci použitelných poznatků z dvojrozměrného hodnocení textury povrchu (2D) a zavedení dalších potřebných informací pro úplný popis. Pro úplný prostorový popis nerovnosti povrchu lze aplikovat topografickou metodu využívající spojitý záznam v jednotlivých diskrétně posunutých rovinách řezu (posunutí je řádově v μm). Zobrazení hodnocené plochy je provedeno v šikmém pohledu. Plošné hodnocení (3D) je realizováno specifickými parametry, které vyžadují použití speciálního softwaru.

Některé typy používaných snímačů:

CLA snímač (Chromatic Length Aberration)

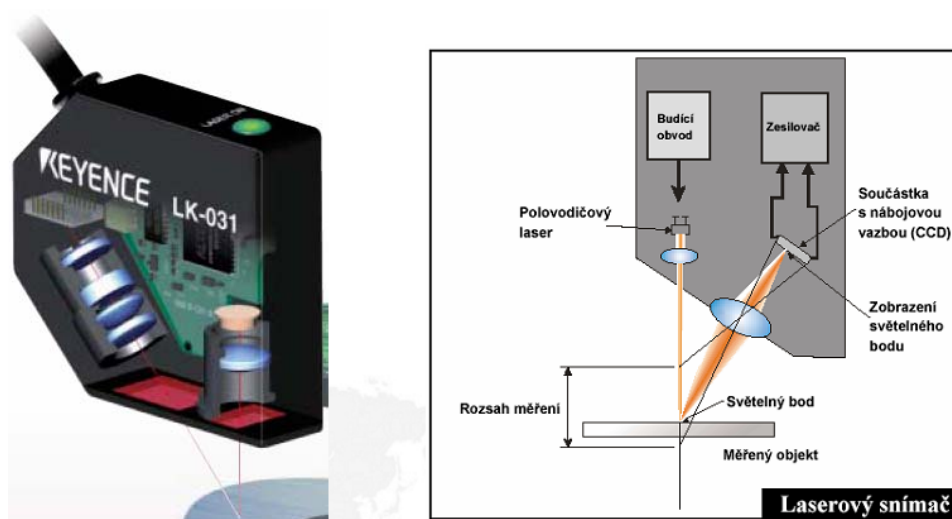
Vysoce přesný bezkontaktní snímač. Horní rozdělovač paprsku vede bílé světlo ze zdroje směrem k čočce objektivu. Polopropustné zrcadlo dole rozděluje světlo do dvou paprsků. Každý paprsek putuje jinou cestou, referenční míří na malé rovinné zrcátko na spodní straně vnitřní čočky objektivu, měřicí paprsek míří na povrch měřeného objektu. Oba odražené paprsky se následně smísí a interferují na ploše CCD snímače. Jelikož je zde použit širokopásmový zdroj světla, k interferenci dochází pouze v případě, že obě cesty paprsku mají stejnou délku. Vertikálním pohybem objektivu (skenováním) můžeme nalézt body výskytu maximální interference pro každý pixel CCD, za použití koherentního korelačního algoritmu. Posouváním polohy objektivu v průběhu tohoto procesu můžeme vytvořit 3D model textury povrchu.[16]



Obr. 13 Princip CLA snímače [14]

Laserový triangulační snímač

Jedná se o rychlý bezkontaktní snímač. Metoda aktivní triangulace spočívající ve fotogrammetrické rekonstrukci snímaného objektu nasvícením jeho povrchu světelným zdrojem a současným snímáním odraženého světla senzorem. Zdroj světla spolu se snímačem a osvětleným bodem na zkoumaném objektu tvoří tzv. triangulační trojúhelník. Spojnici světelný zdroj - snímač nazýváme triangulační bází (základnou). Na straně zdroje je úhel svíraný s triangulační bází neměnný, kdežto na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí vysvíceného bodu na přijímacím senzoru. Z velikosti tohoto úhlu a na základě znalosti triangulační báze lze určit z-ovou souřadnici objektu. [15]



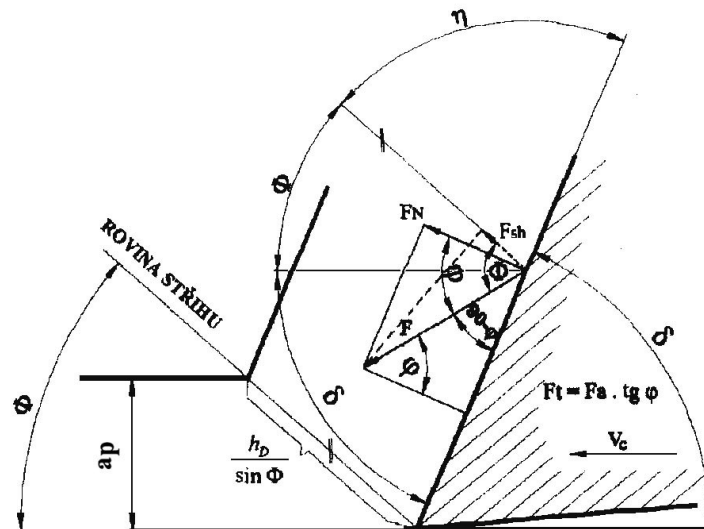
Obr. 14 Princip laserového snímače [14]

2 VYSOKORYCHLOSTNÍ OBRÁBĚNÍ

Mezi základní HSC technologie patří obrábění vysokými rychlostmi, suché a tvrdé obrábění. Všechny tyto technologie mají společný základ, který vyplývá z příbuznosti jevů řezného procesu při zvyšování řezné rychlosti. Definice obrábění vysokými rychlostmi není jednoduchá, od aktuální řezné rychlosti, které může být dosaženo, až přes závislost na pracovním materiálu a typu řezné operace. Jednou jednoduchou definicí je, že řezná rychlost při HSC dosahuje 5 až 10x větších hodnot než při konvenčním obrábění pro určitou řeznou operaci. [17]

Nejpoužívanějšími aplikacemi v HSC je v současnosti hlavně frézování a soustružení. Jde zejména o obrábění prostorově složitých povrchů, jako jsou například formy, zápustky i jiné obrobky. Prováděné operace jsou jak dokončovací, tak i hrubovací, přičemž obojí mají své specifické řezné podmínky. [17]

Při vysokorychlostním obrábění se teplota třísky blíží tavné teplotě obráběného materiálu tj. přibližně 600° C pro hliník, 1000° C pro bronz, 1300° C pro šedou litinu a 1500° C pro ocel. Při určité hodnotě řezné rychlosti náhle dochází ke změně řady chemických, metalurgických a mechanických vlastností třísky. Tříska při průchodu střižnou rovinou náhle zvýší teplotu v celém svém průřezu. Změkne a sníží svou přitlačnou sílu na čelo nástroje. Třecí síla i celkový řezný odpor klesne, zvětší se úhel smykové roviny a ztenčí se průřez třísky a současně se zvýší rychlost jejího odchodu z kontaktní zóny. Z toho důvodu se sníží plocha kontaktní zóny a omezí se sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Vlivem vysoké odchozí rychlosti nestačí tříska předat teplo nástroji ani obrobku. Tím se minimalizuje přenos tepla do nástroje i obrobku a naprostá většina tepla odchází s třískou. Potom i přes celkově značný nárůst tepla se omezí opotřebení nástroje. Důsledkem poklesu řezných sil a snížením tepelného toku do obrobku stoupne i přesnost obrábění. Vysoká teplota třísky je tedy pozitivním faktorem i principiálním zdrojem efektů vysokorychlostního obrábění. Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jedné rovině tzv. rovině stříhu, viz *obr. 15*. [17] [18]



Obr. 15 Průběh tvorby třísky při HSC [18]

Výhody HSC obrábění: [17] [19]

- Zvýší se podíl tepla, který odchází třískou, čímž je nástroj tepelně méně zatížen a zvyšuje se tak zpravidla jeho životnost. Tento aspekt je důležitý nejen z hlediska spotřeby nástrojů, ale i z hlediska ztrát výrobní kapacity při časté výměně opotřebovaného nástroje.
- Nižší ohřev obrobku při vhodném technickém řešení odvodu třísek z prostoru obráběcího stroje se přenáší méně tepla do rámu stroje. Obojí má kladný vliv na dosahovanou přesnost obráběné součásti.
- Nezanedbatelným přínosem HSC je i kvalitně obrobený povrch a jeho vzhled.

HSC obrábění má taky nevýhody: [17] [19]

- Nákladné strojní vybavení.
- Speciální a drahé nástroje.
- Nutnost vyvažování nástrojů.
- Speciální upínání nástroje a obrobku.
- Odstraňování velkého objemu třísek za jednotku času.
- Technologická data pro HSC nejsou dostatečně odzkoušena pro všechny druhy materiálů.

HSC technologie zahrnuje kromě vlastního obrábění i tzv. **suché a tvrdé** obrábění. Suché obrábění, sleduje vyloučení nebo minimalizaci užití řezných kapalin a redukci nákladů na jejich filtraci a recyklování. Tvrdé obrábění znamená obrábění kalených ocelí a jiných velmi tvrdých materiálů nástroji s definovanou geometrií břitu, náhradou za dříve užívanou technologii broušení. [19]

2.1 Suché obrábění

Při suchém obrábění je snaha po eliminaci nebo minimalizaci spotřeby řezných kapalin a redukci nákladů na jejich recyklování. Je vyvoláno vzrůstajícími požadavky na ochranu životního prostředí. V technologii obrábění jde především o odstranění pomocných technologických kapalin, které mají bezprostřední vliv jak na ekologii procesu, tak i na jeho ekonomiku. Tento vysoký podíl nákladů na řezné kapaliny a jejich likvidaci je vyvolán značnými investičními náklady potřebnými pro hospodaření s řeznou kapalinou. Vedle tzv. nulového řešení, které je v mnoha případech neschůdné, se prosazuje tzv. pseudo - suché obrábění s minimálním množstvím řezné kapaliny či maziva. [18]

Vážnou podmínkou suchého obrábění zůstává požadavek účinného odvádění horkých třísek z pracovního prostoru stroje. Jejich hromaděním na částech rámu stroje i na obrobku dochází v důsledku tepelných dilatací k ovlivnění přesnosti obrobku. Je nutné ale zdůraznit, že ne všechny metody obrábění např. vrtání a také ne všechny obráběné materiály např. hořčík, jsou k obrábění za sucha vhodné. Obrábění bez chlazení má i efekty ekonomické. Podle statistických údajů se do ceny výrobku promítá cena řezné kapaliny 7 – 17 %, zatímco cena nástrojů představuje pouze 2 – 4 %. Úroveň těchto nákladů závisí na výrobních operacích, na výrobku a jeho kvalitě, na typech výrobních strojů a způsobu aplikace řezných kapalin apod. [18]

2.2 Tvrdé obrábění

Tvrdé obrábění umožňuje nahradit operace broušení kalených či tvrdých materiálů operacemi obráběním zejména soustružením, frézováním, vrtáním a vyvrtáváním. Používá se řezných materiálů na bázi polykrystalického kubického nitridu boru (PCBN, PKBN), který umožňuje obrábění oceli v rozmezí tvrdosti 55 – 64 HRC. Dochází tak k podstatnému zvýšení množství odebraného materiálu, snížení času obrábění, zvýšení

výrobnosti a k výraznému snížení nákladů. Nástroje osazené PCBN jsou používány také k obrábění slinovaných ocelí, bílé litiny s tvrdostí nad 50 HRC, šedé litiny i tvrdých návarových slitin. Při obrábění těchto materiálů se rovněž značně snižuje čas potřebný k výměně nástroje. Technologii tvrdého obrábění však nelze použít u obrobků, které nemají dostatečnou tuhost nebo tam, kde je požadována vysoká přesnost obráběného povrchu. Náhrada broušení nástrojem s definovanou geometrií břitu, zejména frézováním, je umožněno aplikací super tvrdých řezných materiálů a to především jak již bylo napsáno polykrystalickým kubickým nitridem boru. Tento řezný materiál si udržuje svou stabilní tvrdost až do 2 000 °C, má výbornou odolnost proti teplotním šokům a vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení. Uvedené vlastnosti způsobují, že si udržuje výrazně vyšší tvrdost oproti obráběnému materiálu při dané teplotě řezání a proces obrábění může probíhat efektivně. Jeho další předností je vysoká řezivost, dovolující řeznou rychlost např. při frézování kalené oceli a litiny 200 – 400 m.min⁻¹ a šedé litiny kolem 2 000 m.min⁻¹ při posuvech 10 – 20 m.min⁻¹. Při frézování kalených vodících ploch obráběcích strojů se dosahuje rovinnosti 0,01/1 000 mm a drsnosti povrchu Ra = 0,6 – 0,8 μm. Vyšší řezivost znamená i vyšší trvanlivost podle kritéria rozměrové a tvarové přesnosti a drsnosti obráběného povrchu. Tato skutečnost je zvláště významná u CNC strojů, kde náklady na jednu hodinu práce stroje jsou vysoké. [18]

2.3 Aplikace HSC technologie

1. Obrábění s vysokým podílem hrubování při použití výkonných vřetenových jednotek. Příkladem je výroba integrálních dílů pro letecký průmysl, nebo sériová výroba v automobilovém průmyslu. HSC metodami se vyrábějí např. skříně převodovek, díly brzd, pumpy, hlavy válců atd. Materiálem zde jsou převážně slitiny hliníku.

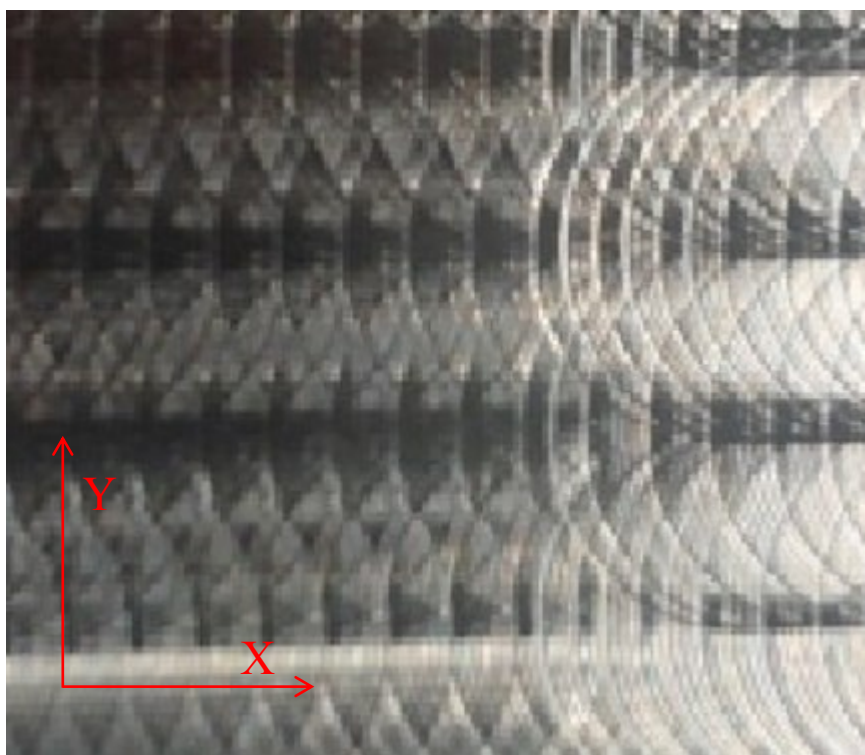
2. Součásti z křehkých materiálů, nebo součásti s tenkými stěnami náchylnými na deformace. Ty nelze konvenčními metodami úspěšně opracovat. Při obrábění vysokými rychlostmi vznikají jen malé síly, působící na obrobek a tím i malá pravděpodobnost deformace obrobku.

3. Obrábění součástí z materiálů citlivých na teplo vzniklé při řezném procesu. Opět se zde využívá vysokorychlostní obrábění, ale tentokrát efektu menších tepelných toků do materiálu obrobku z procesu řezání.

4. Výroba zápustek, forem, lisovacích nástrojů a elektrod. Zavedení HSC metod zde vytvořilo předpoklady pro optimalizaci celého výrobního procesu. Přínosem je, kromě zkrácení času výroby, také výrazné zkrácení výrobního řetězce, snížení rozpracovanosti výroby, náhrada některých nekonvenčních metod obrábění; to vše je umožněno značným zlepšením přesnosti a kvality povrchu. Z velké části odpadne také nutnost následného ručního dokončování povrchu formy. Typickými materiály zde je ocel, kalená ocel a měď [19].

3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Cílem diplomové práce je vyhodnotit, jaký vliv má řezná rychlost a posuv na zub na výslednou kvalitu obrobeného povrchu. Hloubka řezu byla po celou dobu experimentu konstantní $a_p = 0,5$ mm. Vzorky pro měření byly obrobeny ve spolupráci s Žilinskou univerzitou v Žilině na katedře obrábění a výrobní techniky pod vedením doc. Ing. Andreje Czána, PhD. Materiály použité na vzorky při experimentu byly ocel 12 050.1 (1.1191), 19 522 (1.2343) a 19 573 (1.2379). Ty pak byly obrobeny na stroji Hurco za pomoci pětizubé frézy s VBD od firmy ISCAR. Drsnost povrchu byla měřena v prostorách VŠB – TUO přístrojem pro měření drsnosti od firmy MITUTOYO s označením SurfTest SJ-401. Na *obr. 16* je vidět obrobený vzorek, připravený k měření. Osa X znázorňuje směr posuvu frézování (podélný směr) a osa Y kolmý směr na vektor posuvu (příčný směr).



Obr. 16 Obrobený vzorek

3.1 Použitý materiál

- Ocel 12 050.1 (1.1191)
- Ocel 19 552 (1.2343)
- Ocel 19 573 (1.2379)

Ocel 12 050.1 (1.1191)

Nejpoužívanější ušlechtilá uhlíková ocel vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení. Ocel vhodná pro pevnostní díly ve všeobecném strojírenství, je vhodná zejména pro tepelně zpracované díly kdy jsou maximálně využity mechanické vlastnosti oceli. Je vhodná pro následující typové díly: hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod., na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry, písty kompresorů, pevnostní kolíky, čepy a šrouby, dopravní válečky, lamely spojek, lůžka, páky, zarážky, posunovací vidlice, držáky, vrtací tyče a frézovací trny.

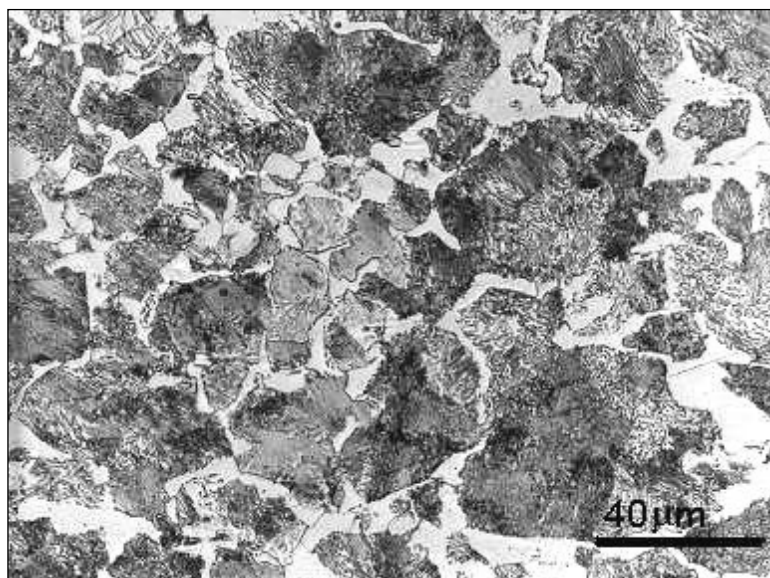
Tab. 1 Chemické složení oceli 12 050.1

C [%]	Si _{max.} [%]	Mn [%]	P _{max.} [%]	S _{max.} [%]	N [%]	Cr _{max.} [%]	Ni _{max.} [%]
0,4-0,5	0,4	0,5-0,8	0,035	0,035	0,4	0,4	0,4

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 12 050.1

Mez pevnosti R _m [MPa]	Mez kluzu R _e [MPa]	Tažnost A [%]	Tvrdost HB max.
560 - 850	275 - 490	min. 14	255

Struktura oceli 12 050.1 vykazuje lamelární perlit a feritické síťoví po hranicích zrn. Struktura oceli je znázorněna na *obr. 17* při zvětšení 500x.

*Obr. 17 Struktura oceli 12 050.1 při zvětšení 500x*

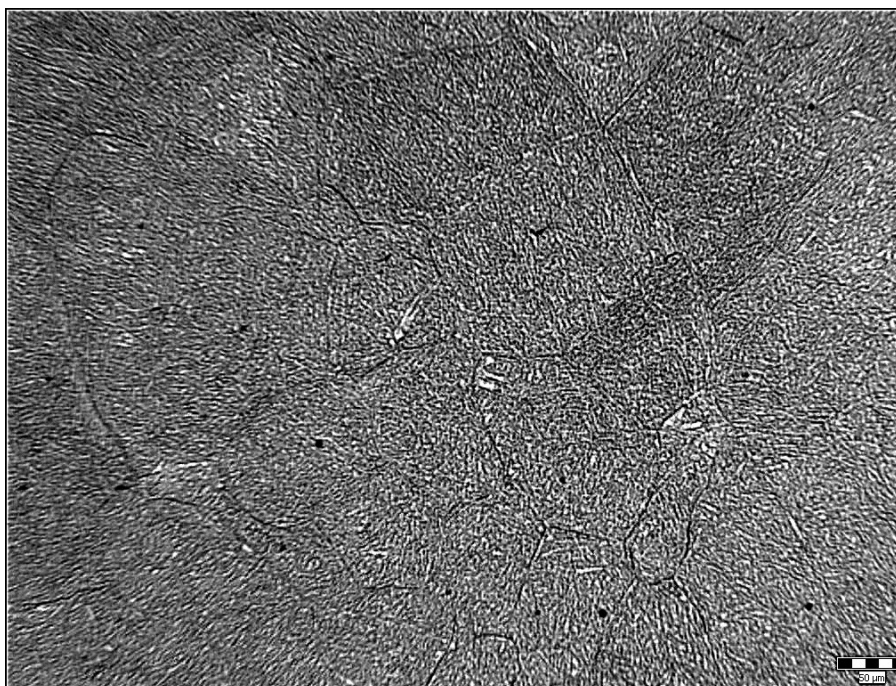
Ocel 19 552 (1.2343)

Nejpoužívanější ocel pro práci za tepla. Cr - Mo - V legovaná ocel s vysokou prokalitelností a houževnatostí. Vyznačuje se velmi dobrými pevnostními vlastnostmi za tepla. Ocel má dobrou tepelnou vodivost, odolnost k tvorbě trhlin za tepla a malou citlivost na prudké změny teploty. Používá se pro formy na pevné a pohyblivé díly jádra a jiné části forem pro tlakové lití slitin hliníku a velké série odlitků slitin zinku a hořčíku. Nástroje pro tváření za tepla tj. velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky zápustek, velmi namáhané průtlačníky a jiné pomocné nástroje pro protlačování neželezných kovů za tepla, průtlačnice na hliník a jeho slitiny. Tato ocel byla kalena na tvrdost 40 – 42 HRC.

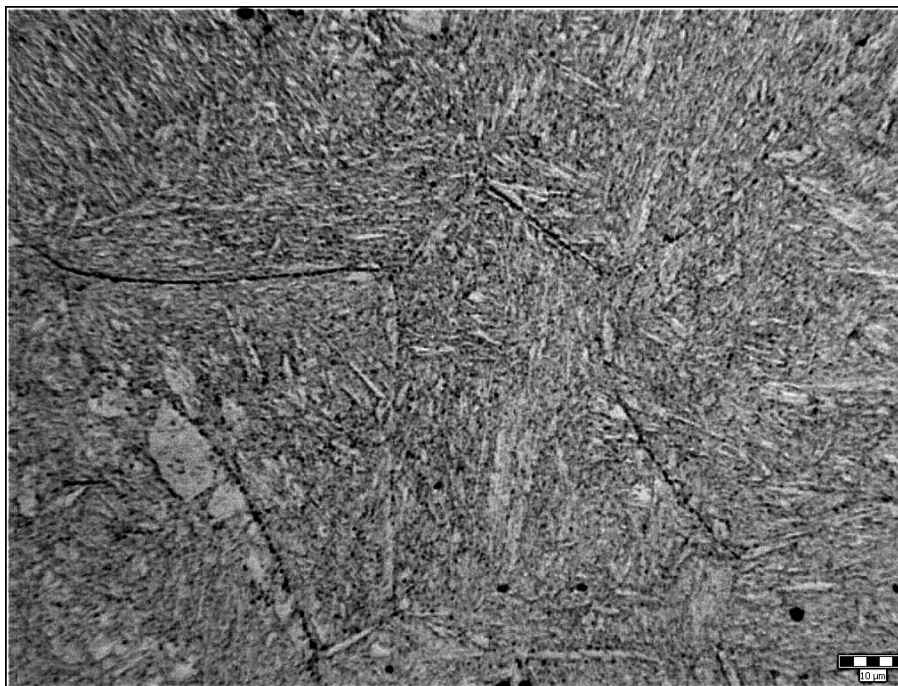
Tab. 3 Chemické složení oceli 19 552

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
0,3 - 0,4	0,8 - 1,2	0,2 - 0,5	0,03	0,03	4,5 - 5,5	1,1 - 1,6	0,35 - 0,6

Výsledná struktura vykazuje jemné martenzitické jehlice a po hranicích původního zrna vyloučeny karbidy. Struktura oceli je znázorněna na *obr. 18* a na *obr. 19*.



Obr. 18 Struktura oceli 19 552 při zvětšení 100x



Obr. 19 Struktura oceli 19 552 při zvětšení 500x

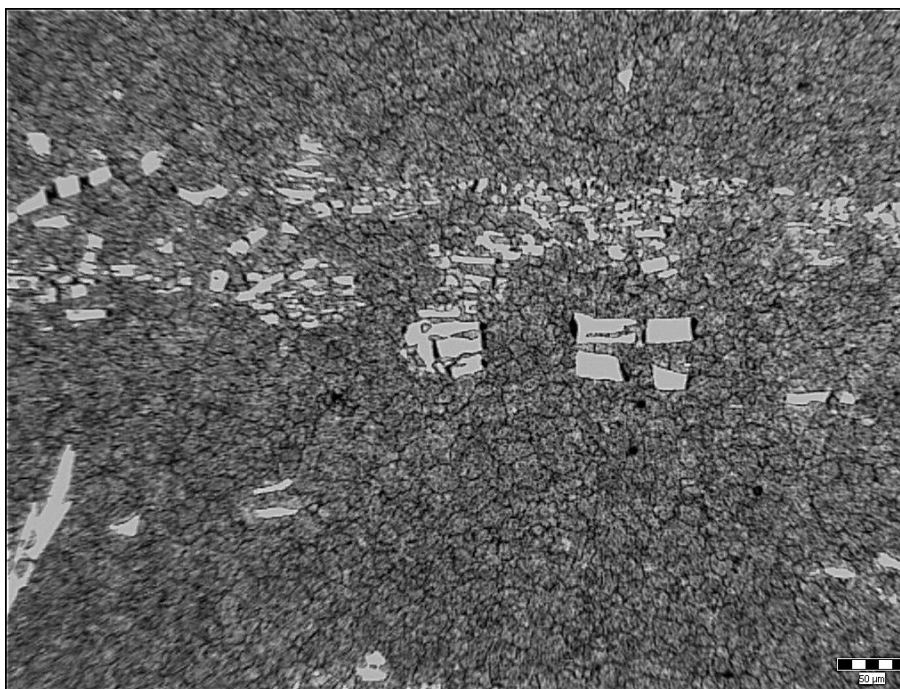
Ocel 19 573 (1.2379)

Chrom - molybden - vanadová ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu, zvláště vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá řezivost, velmi vysoká pevnost v tlaku, menší houževnatost. Tato ocel vykazuje dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování, vhodná ke kalení na sekundární tvrdost. Používá se pro nástroje k stříhání za studena tj. všechny druhy nástrojů s velkou životností pro stříhání na lisech a děrování materiálů menších tloušťek a materiálů vysoké pevnosti (zejména tvarově složitě nástroje pro stříhání např. transformátorových plechů a plechů z nerezavějících ocelí), nože pro tabulové nůžky na plech a pásovou ocel do tloušťky materiálu cca 10 mm, nože na stříhání drátu apod. Tato ocel byla kalena na 58 – 59 HRC.

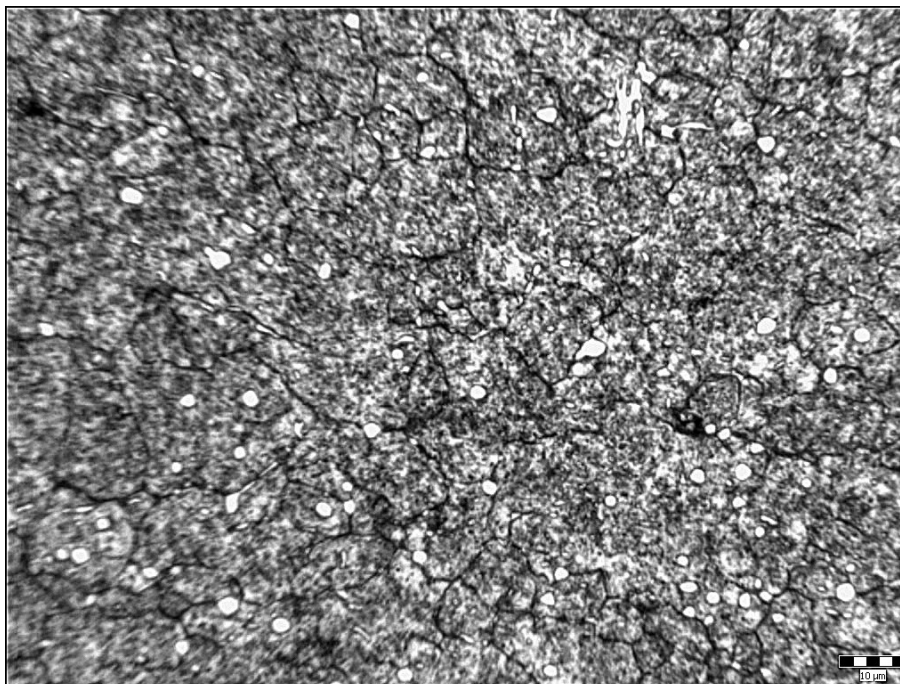
Tab. 4 Chemické složení oceli 19 573

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
1,4 - 1,6	0,2 - 0,45	0,2 - 0,45	0,03	0,035	11 - 12,5	0,6 - 0,95	0,8 - 1,2

Na mikrostruktuře tohoto materiálu můžeme vidět cementitické desky v martezitickém základu viz *obr. 20*. Na *obr. 21* je vidět popuštěný martenzit, sferoidizace cementitu a hrubé karbidy.



Obr. 20 Struktura oceli 19 573 při zvětšení 100x



Obr. 21 Struktura oceli 19 573 při zvětšení 500x

3.2 Použitý stroj

Samotný experiment byl proveden na stroji Hurco VMX30t. Je to 3. osé vertikální frézovací centrum, vhodné taky pro hrubování větších obrobků.



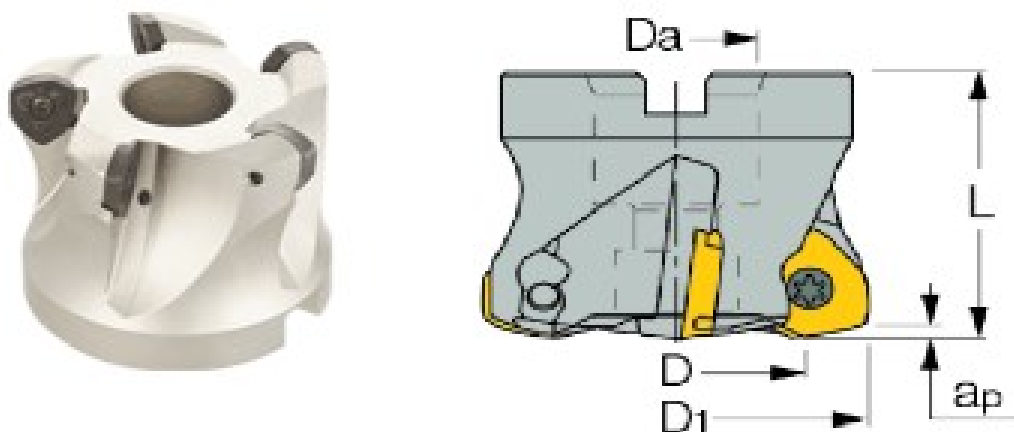
Obr. 22 Obráběcí centrum Hurco VMX30t [9]

Tab. 5 Parametry stroje Hurco VMX30t [9]

Pojezd X × Y × Z [mm]	762 × 508 × 610 mm
Otáčky vřetene [min ⁻¹]	10 - 12 000 min ⁻¹
Výkon vřetene [kW]	13,4 kW
Rychlost rychloposuvu [m.min ⁻¹]	35 m.min ⁻¹
Počet nástrojů [ks]	24

3.3 Použitý nástroj

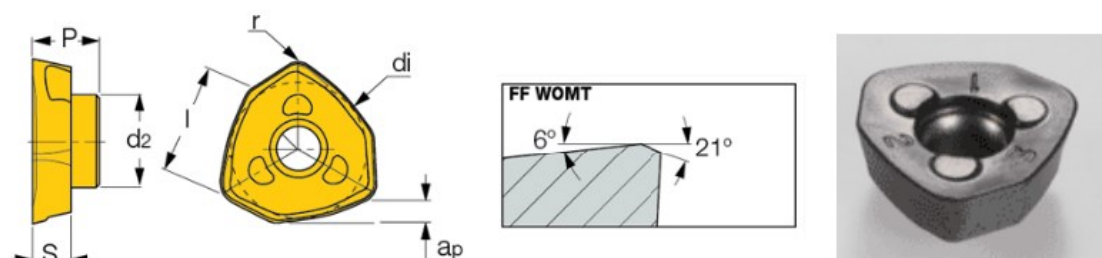
Všechny vzorky byly obrobeny pětizubou frézou s VBD od firmy ISCAR. Typové označení frézy dle katalogu je FF FW D50-22-06-C, je to fréza se standardní zubovou roztečí pracující při vysokých posuvech až $f_z = 3,5$ mm při hloubce záběru 1 mm. Označení vyměnitelných břitových destiček FF WOMT 060212 T-M IC908.



Obr. 23 Použitý nástroj FF FW D50-22-06-C [10]

Tab. 6 Parametry frézy FF FW D50-22-06-C [10]

D_1 [mm]	D [mm]	$a_{p \max}$ [mm]	L [mm]	Da [mm]
50	36	1,5	40	22



Obr. 24 Břítová destička FF WOMT 060212 T-M IC908 [11]

Tab. 7 Parametry břitové destičky FF WOMT 060212 T-M IC908 [11]

d_i [mm]	L [mm]	S [mm]	P [mm]	d_2 [mm]	r [mm]	a_p [mm]	f_{zmin} [mm]	f_{zmax} [mm]
9,86	7	2,7	4,7	5,6	2	1	0,7	1,5

3.4 Použité zařízení pro měření drsnosti povrchu

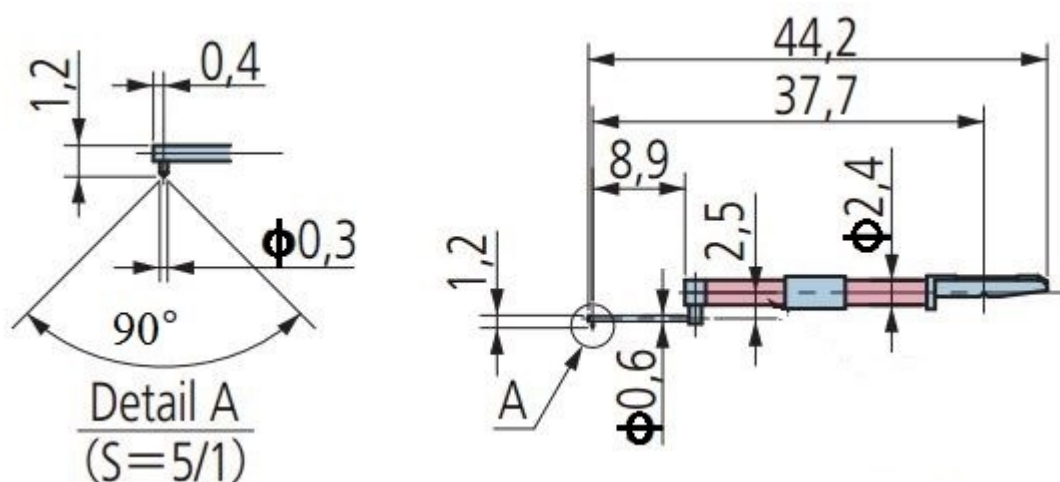
Pro měření drsnosti povrchu byl použit drsnoměr od firmy MITUTOYO s označením SurfTest SJ-401. Je to kompaktní přenosný přístroj pro měření drsnosti povrchů s dotykovým obslužným panelem. Výsledky měření se zobrazují digitálně nebo graficky na displeji, a pokud je potřeba, lze je vytisknout přímo ze zabudované tiskárny.

Použité parametry měření:

- Základní délka profilu (cut-off) $l_r = 2,5 \text{ mm}$
- Vyhodnocovaná délka profilu $l_n = 12,5 \text{ mm}$
- Rychlost snímání: $0,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
- Použitý filtr: Gaussův



Obr. 25 Zařízení pro měření drsnosti [12]



Obr. 26 Snímací dotek 12AAC733 [13]

3.5 Řezné parametry použité při experimentu

Obrobení vzorků proběhlo metodou čelního frézování. Hloubka řezu byla po celou dobu experimentu konstantní $a_p = 0,5$ mm.

Tab. 8 Řezné parametry použité při experimentu u materiálu 12 050.1

Materiál	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	n [min ⁻¹]	v_f [m.min ⁻¹]
12 050.1	250	0,1	1600	0,8
		0,5	1600	4
		1	1600	8
		1,5	1600	12
		2	1600	16
	350	0,1	2200	1,1
		0,5	2200	5,5
		1	2200	11
	450	0,1	2900	1,45
		0,5	2900	7,25
		1	2900	14,5
	550	0,1	3500	1,75
		0,5	3500	8,75
	850	0,1	5400	2,7
		0,5	5400	13,5

Tab. 9 Řezné parametry použité při experimentu u materiálu 19 552

Materiál	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	n [min ⁻¹]	v_f [m.min ⁻¹]
19 552	250	0,1	1600	0,8
		0,5	1600	4
		1	1600	8
		1,5	1600	12
		2	1600	16
	350	0,1	2200	1,1
		0,5	2200	5,5
		1	2200	11
	450	0,1	2900	1,45
		0,5	2900	7,25
		1	2900	14,5
	550	0,1	3500	1,75
		0,5	3500	8,75
	850	0,1	5400	2,7
		0,5	5400	13,5

Tab. 10 Řezné parametry použité při experimentu u materiálu 19 573

Materiál	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	n [min ⁻¹]	v_f [m.min ⁻¹]
19 573	100	0,1	650	0,3
		0,5	650	1,6
		1	650	3,3
		1,5	650	4,9
	150	0,1	950	0,5
		0,5	950	2,4
		1	950	4,8

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Drsnost povrchu všech vzorků byla měřena 10krát ve dvou směrech, a to ve směru podélném (tj. směr posuvu frézování „osa x“) a ve směru příčném (tj. kolmém na směr vektoru posuvu „osa y“). Veškeré naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek v programu Microsoft Excel, v tomto programu byly také vytvořeny všechny grafy. V *tab. 11* je znázorněna ukázka naměřených hodnot a následně zpracovaná data. Všechny data a soubory jsou v příloze.

Tab. 11 Naměřené hodnoty Ra ve směru podélném u materiálu 19 573 při řezné rychlosti $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu na zub $f_z = 0,1 \text{ mm}$

č. měření	Ra [μm]	H _n [μm]	Nejistoty
1	1,46	0,297	u_A [μm]
2	1,44	0,356	0,107
3	2,05	-1,453	u_{B1} [μm]
4	1,42	0,415	0,027
5	1,45	0,326	u_{B2} [μm]
6	0,88	2,016	0,047
7	1,49	0,208	u_B [μm]
8	1,9	-1,008	0,054
9	1,94	-1,127	u_C [μm]
10	1,57	-0,030	0,120
			U_C [μm]
			0,24

Průměrná hodnota Ra: $\overline{Ra} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 1,56 \mu\text{m}$

Výběrová směrodatná odchylka: $s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0,337 \mu\text{m}$

4.1 Hrubé chyby

Hrubé chyby vznikají nepozorností nebo přehlédnutím, poruchou měřicího přístroje, nevhodnou metodou měření, apod. Korigování chyby není možné nebo je neekonomické, je vždy třeba opakovat měření.

- 1) Z naměřených hodnot pro daný vzorek ($x_1 < x_2 < \dots < x_n$) se vypočte průměrná hodnota a výběrová směrodatná odchylka:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ kde} \quad (8)$$

x_i naměřené hodnoty veličiny;

n počet měření;

$s(x)$ směrodatná odchylka;

\bar{x} průměrná hodnota.

- 2) Pro posouzení odlehlosti podezřelých hodnot souboru (x_2, x_n) se vypočte normované hodnoty H_2, H_n :

$$H_2 = \frac{\bar{x} - x_2}{s(x)}, \text{ popř. } H_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s(x)}, \text{ kde} \quad (9)$$

x_i naměřené hodnoty veličiny;

n počet měření;

\bar{x} průměrná hodnota.

- 3) Z tabulek se potom určí hodnota H pro předem stanovenou pravděpodobnost p a počet měření v souboru n . Mezní hodnoty H pro pravděpodobnost $p = 95\%$ a počet měření $n = 10$ je $H = 2,18$.
- 4) Za předpokladu, že $H_2 < H$ a $H_n > H$ hodnota x_2 není zatížena hrubou chybou a ponechá se v souboru, ale hodnota x_n je ovlivněna hrubou chybou a ze souboru naměřených hodnot se vyloučí.[8]

4.2 Nejistoty měření

Nejistota měření charakterizuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze zdůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření se týká nejen výsledku měření, ale i měřících přístrojů, hodnot použitých konstant, korekcí apod., na

kterých nejistota výsledku měření závisí. Základem určování nejistot měření je statistický přístup. Předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje, jak se může udávaná hodnota odchylovat od skutečné hodnoty, resp. pravděpodobnost, s jakou se v intervalu daném nejistotou může nacházet skutečná hodnota.

Mírou nejistoty měření je směrodatná odchylka udávané veličiny. Takto vyjádřená nejistota se označuje jako standartní nejistota **u** a představuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty. Standartní nejistoty se dělí na standartní nejistoty typu A a B.[7]

Standardní nejistoty typu A (u_A) – způsobovány náhodnými chybami, jejichž příčiny se považují za neznámé. Tyto nejistoty se stoupajícím počtem opakovaných měření zmenšují. Stanovují se z opakovaných měření stejné hodnoty za stejných podmínek.

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

Standardní nejistoty typu B (u_B) – způsobovány známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Určování nebývá vždy jednoduché. Hodnota nezávisí na počtu měření.

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2}, \text{ kde} \quad (11)$$

u_B standartní nejistota typu B;

u_{B1} nejistota vlivu opěrné paty snímacího hrotu;

u_{B2} nejistota měřicího přístroje.

Hodnota nejistoty vlivu opěrné paty snímacího hrotu u_{B1} byla stanovena pro rovnoměrné pravoúhlé rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

$$u_{B1} = \frac{Z_{1max}}{k}, \text{ kde} \quad (12)$$

Z_{1max} je odchylka nejistoty vlivu opěrné paty $\pm 3\%$

k součinitel vycházející ze zákona rozdělení, kterým se příslušný zdroj nejistoty řídí, pro rovnoměrné $k = \sqrt{3}$.

Hodnota nejistoty měřicího přístroje u_{B2} byla stanovena na úrovni $\pm 3\%$ z naměřené hodnoty pro daný měřicí přístroj.

Kombinovaná standartní nejistota u_C – je kladnou druhou odmocninou ze součtu kvadrátů standartních nejistot u_A a u_B . Kombinovaná standartní nejistota udává interval, ve kterém se s poměrně velkou pravděpodobností může vyskytovat skutečná hodnota měřené veličiny. V praxi se jí dává přednost.

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (13)$$

Rozšířená standartní odchylka U_C – se zavádí v případě, že je potřeba zajistit ještě větší pravděpodobnost měřeného výsledku. Získá se, že se kombinovaná nejistota vynásobí koeficientem rozšíření $k_U = 2$.

$$U_c = k_U \cdot u_c = k_U \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (14)$$

4.3 Příklad výpočtu určení hrubé chyby a nejistoty měření

Uvedené hodnoty jsou použity z *tab. 11*

Určení hrubé chyby:

1. Výpočet průměrné hodnoty \bar{x} :

$$\bar{Ra} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{15,6}{10} = 1,56 \mu m$$

2. Výpočet výběrové směrodatné odchylky $s(x)$:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1,022}{10 - 1}} = 0,337 \mu m$$

3. Výpočet normované hodnoty H_5 :

$$H_5 = \frac{\bar{x} - x_5}{s(x)} = \frac{1,56 - 1,45}{0,337} = 0,326 \mu m$$

Vypočtená hodnota $H_5 < 2,18$, naměřená hodnota x_5 se ponechá v souboru naměřených hodnot, protože není zatížená hrubou chybou.

Nejistoty měření:

1. Výpočet standardní nejistoty typu A (u_A):

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{1,022}{10 \cdot (10 - 1)}} = 0,107 \mu m$$

2. Výpočet standardní nejistoty typu B (u_B):

Hodnota nejistoty vlivu opěrné paty snímacího hrotu u_{B1} a hodnota nejistoty měřicího přístroje u_{B2} :

$$u_{B1} = \frac{Z_{1max} \cdot \bar{x}}{k} = \frac{0,03 \cdot 1,56}{\sqrt{3}} = 0,027 \mu m$$

$$u_{B2} = 0,03 \cdot \bar{x} = 0,03 \cdot 1,56 = 0,047 \mu m$$

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{0,027^2 + 0,047^2} = 0,054 \mu m$$

3. Výpočet kombinované standardní nejistoty u_C :

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,107^2 + 0,054^2} = 0,12 \mu m$$

4. Výpočet rozšířené kombinované nejistoty U_C :

$$U_C = k_U \cdot u_C = k_U \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 2 \cdot 0,12 = 0,24 \mu m$$

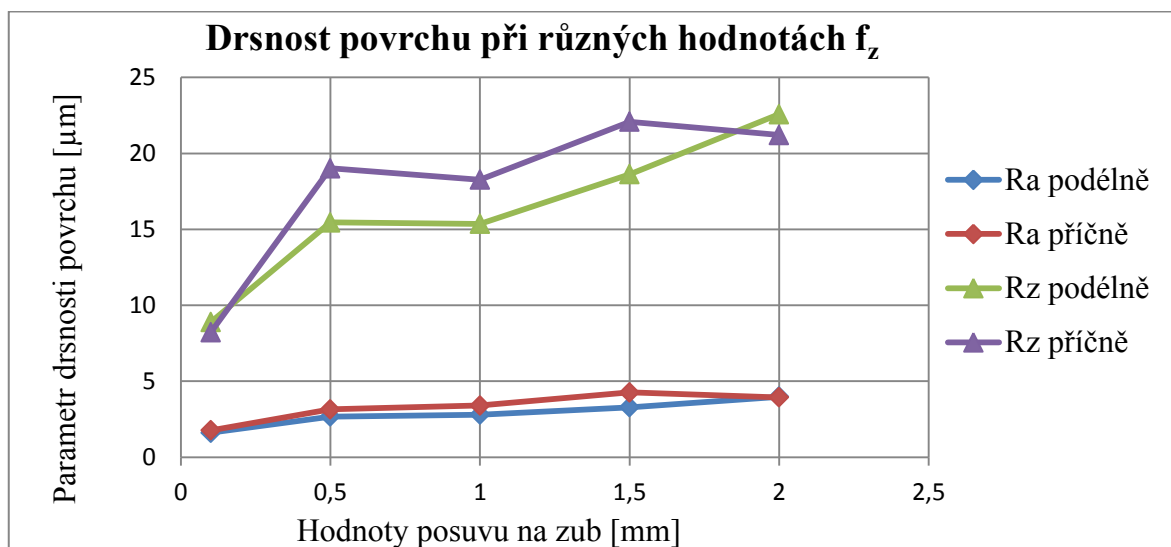
5 VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI POVRCHU

V následujících tabulkách a grafech jsou vyhodnoceny parametry drsnosti ocelí 12 050.1 (1.1191), 19 552 (1.2343), 19 573 (1.2379). Veškerá naměřená a vyhodnocená data a grafy jsou v příloze.

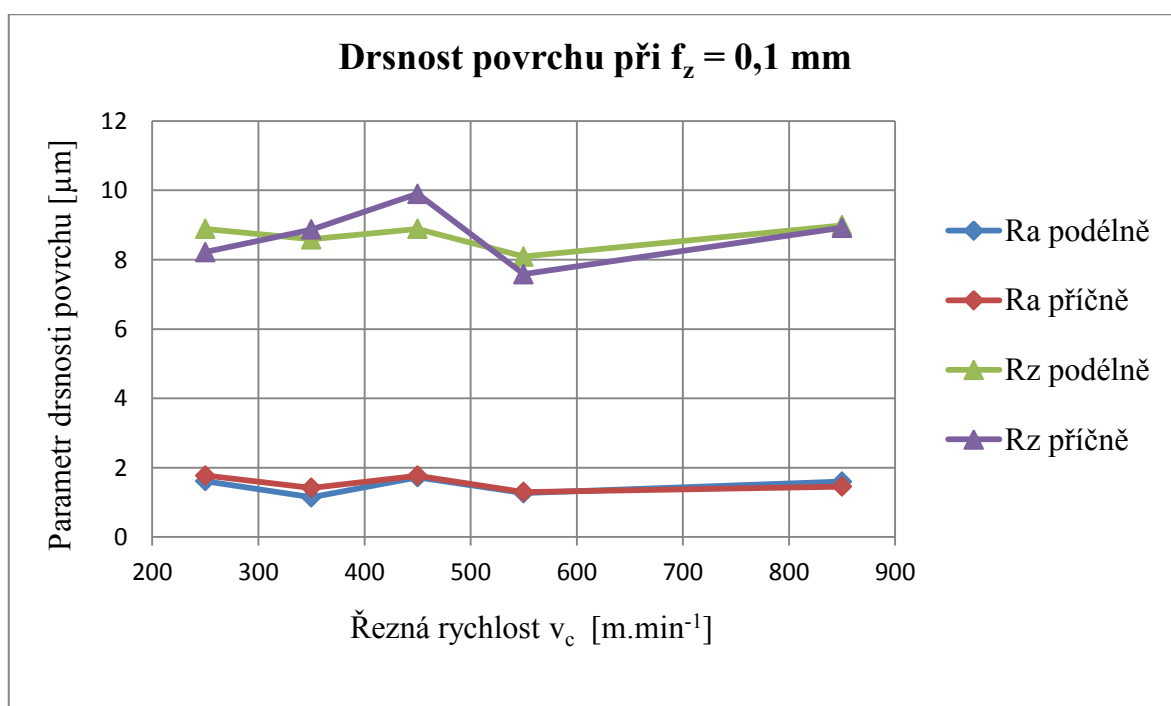
5.1 Materiál 12 050.1

Tab. 12 Vypočtené hodnoty parametrů drsnosti povrchu R_a a R_z u vzorků z materiálu 12 050.1

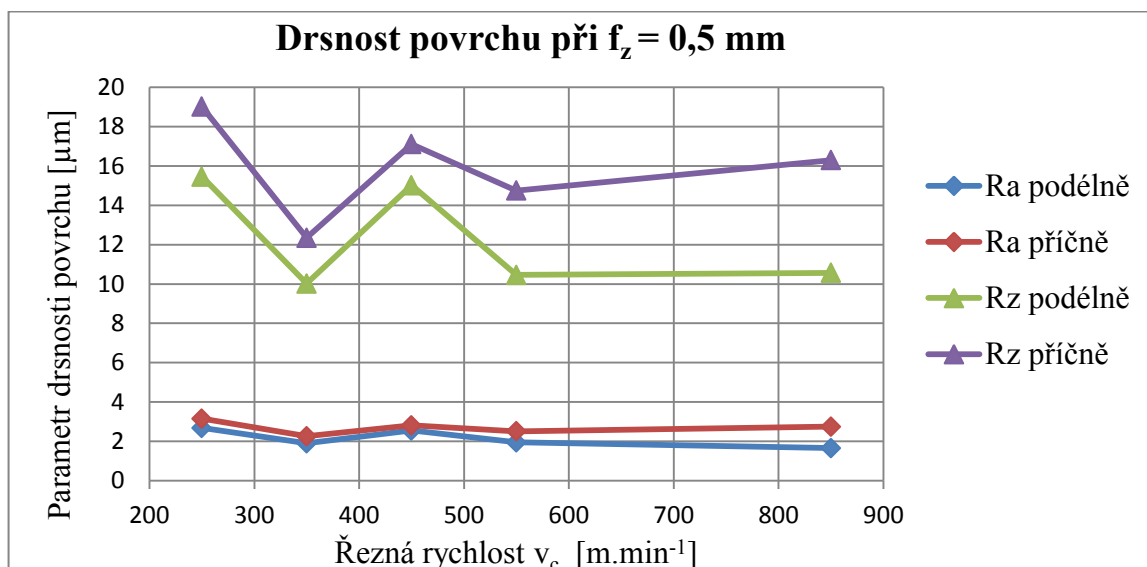
Vzorek č.	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	Parametry drsnosti povrchu			
			Podélný směr R_a [μm]	Příčný směr R_a [μm]	Podélný směr R_z [μm]	Příčný směr R_z [μm]
1	250	0,1	$1,61 \pm 0,17$	$1,77 \pm 0,2$	$8,89 \pm 0,71$	$8,22 \pm 0,58$
2		0,5	$2,67 \pm 0,26$	$3,15 \pm 0,23$	$15,46 \pm 2,04$	$19,02 \pm 2,16$
3		1	$2,8 \pm 0,22$	$3,4 \pm 0,38$	$15,36 \pm 1,18$	$18,27 \pm 1,5$
4		1,5	$3,28 \pm 0,35$	$4,26 \pm 0,6$	$18,63 \pm 1,98$	$22,08 \pm 2,71$
5		2	$3,98 \pm 0,31$	$3,93 \pm 0,58$	$22,58 \pm 2,28$	$21,21 \pm 3,15$
6	350	0,1	$1,15 \pm 0,11$	$1,42 \pm 0,22$	$8,59 \pm 0,67$	$8,87 \pm 0,99$
7		0,5	$1,9 \pm 0,26$	$2,26 \pm 0,19$	$10,02 \pm 1,38$	$12,35 \pm 1,31$
8		1	$2,89 \pm 0,28$	$3,58 \pm 0,71$	$17,99 \pm 2,99$	$20,97 \pm 3,53$
9	450	0,1	$1,72 \pm 0,13$	$1,77 \pm 0,13$	$8,89 \pm 0,69$	$9,9 \pm 1,07$
10		0,5	$2,55 \pm 0,22$	$2,81 \pm 0,26$	$15,02 \pm 1,33$	$17,11 \pm 1,65$
11		1	$2,98 \pm 0,26$	$4,92 \pm 0,73$	$16,76 \pm 2,19$	$23,69 \pm 2,82$
12	550	0,1	$1,27 \pm 0,12$	$1,3 \pm 0,25$	$8,09 \pm 0,95$	$7,58 \pm 0,9$
13		0,5	$1,94 \pm 0,16$	$2,51 \pm 0,41$	$10,46 \pm 0,83$	$14,75 \pm 2,28$
14	850	0,1	$1,6 \pm 0,13$	$1,45 \pm 0,25$	$8,99 \pm 1,54$	$8,96 \pm 0,75$
15		0,5	$1,65 \pm 0,18$	$2,74 \pm 0,25$	$10,57 \pm 1,71$	$16,3 \pm 1,56$



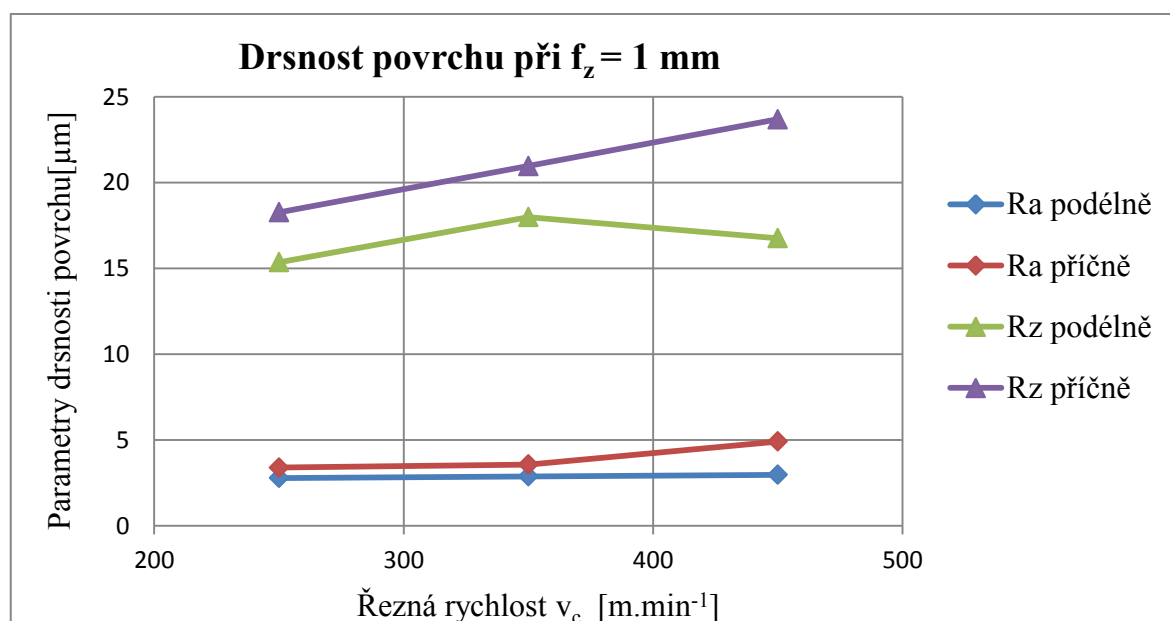
Obr. 27 Graf průměrných hodnot drsností měřených na materiálu 12 050.1 při konstantní řezné rychlosti $v_c = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a různých posuvech na zub f_z



Obr. 28 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 12 050.1 při posuvu na zub $f_z = 0,1 \text{ mm}$



Obr. 29 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 12 050.1 při posuvu na zub $f_z = 0,5$ mm



Obr. 30 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 12 050.1 při posuvu na zub $f_z = 1$ mm

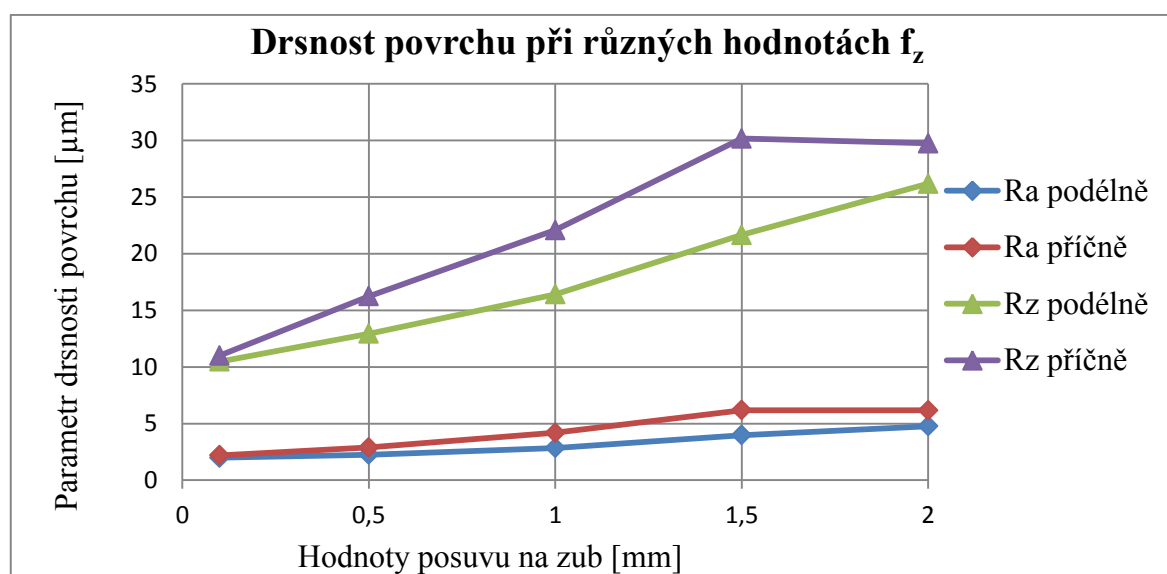
Z obr. 27 je patrný nárůst drsnosti povrchu se zvyšujícím se posuvem na zub f_z při konstantní řezné rychlosti v_c . Z ostatních grafů se nepotvrdil klesající trend drsnosti povrchu při zvyšování řezné rychlosti, hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti

vykazovaly značné výkyvy. Závislost řezné rychlosti na drsnosti povrchu je tedy nejednoznačná.

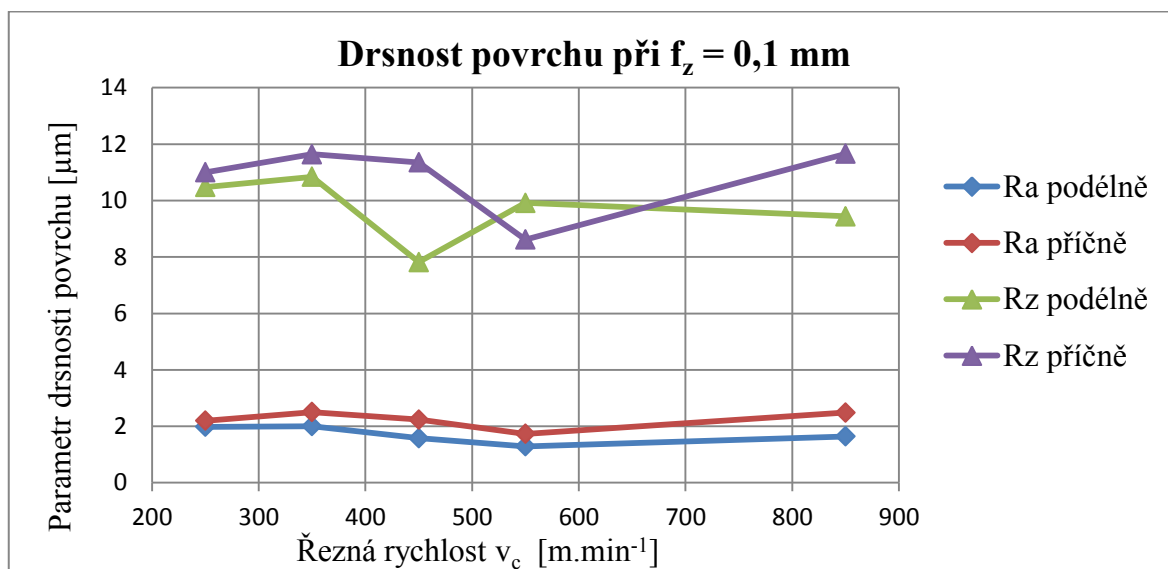
5.2 Materiál 19 552

Tab. 13 Vypočtené hodnoty parametrů drsnosti povrchu R_a a R_z u vzorků z materiálu 19 552

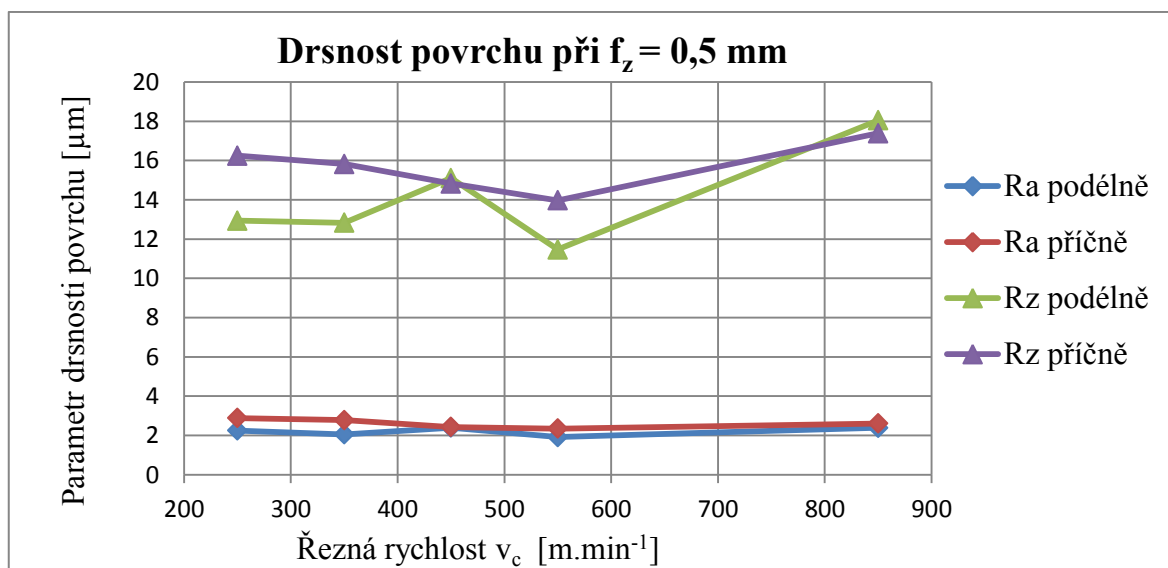
Vzorek č.	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	Parametry drsnosti povrchu			
			Podélný směr R_a [μm]	Příčný směr R_a [μm]	Podélný směr R_z [μm]	Příčný směr R_z [μm]
1	250	0,1	$1,98 \pm 0,16$	$2,20 \pm 0,42$	$10,48 \pm 0,79$	$11 \pm 1,58$
2		0,5	$2,25 \pm 0,19$	$2,88 \pm 0,45$	$12,94 \pm 1$	$16,25 \pm 2,38$
3		1	$2,84 \pm 0,25$	$4,19 \pm 0,42$	$16,42 \pm 1,47$	$22,08 \pm 2,03$
4		1,5	$3,98 \pm 0,4$	$6,18 \pm 0,66$	$21,66 \pm 2,74$	$30,17 \pm 2,9$
5		2	$4,77 \pm 0,45$	$6,17 \pm 0,9$	$26,19 \pm 3,54$	$29,74 \pm 3,24$
6	350	0,1	$2 \pm 0,22$	$2,5 \pm 0,38$	$10,84 \pm 1,24$	$11,64 \pm 1,18$
7		0,5	$2,05 \pm 0,22$	$2,78 \pm 0,26$	$12,83 \pm 1,74$	$15,82 \pm 1,43$
8		1	$2,77 \pm 0,26$	$3,97 \pm 0,6$	$15,77 \pm 1,65$	$20,88 \pm 2,25$
9	450	0,1	$1,58 \pm 0,19$	$2,24 \pm 0,21$	$7,82 \pm 0,89$	$11,35 \pm 1,53$
10		0,5	$2,4 \pm 0,24$	$2,43 \pm 0,21$	$15,11 \pm 2,22$	$14,83 \pm 1,23$
11		1	$2,67 \pm 0,28$	$3,74 \pm 0,29$	$15,61 \pm 1,77$	$20,04 \pm 1,66$
12	550	0,1	$1,29 \pm 0,1$	$1,73 \pm 0,33$	$9,92 \pm 2,82$	$8,62 \pm 1,63$
13		0,5	$1,92 \pm 0,15$	$2,35 \pm 0,2$	$11,47 \pm 0,96$	$13,97 \pm 1,23$
14	850	0,1	$1,64 \pm 0,15$	$2,49 \pm 0,23$	$9,44 \pm 0,74$	$11,66 \pm 0,98$
15		0,5	$2,39 \pm 0,30$	$2,61 \pm 0,28$	$18,05 \pm 2,51$	$17,39 \pm 1,6$



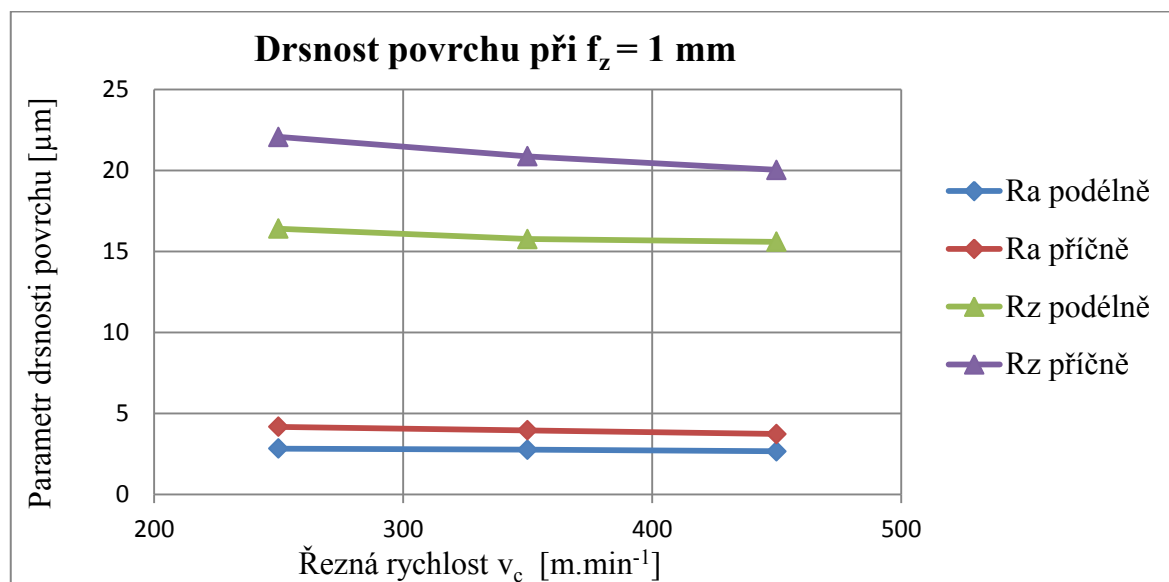
Obr. 31 Graf průměrných hodnot drsností měřených na materiálu 19 552 při konstantní řezné rychlosti $v_c = 250$ m.min⁻¹ a různých posuvech na zub f_z



Obr. 32 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 19 552 při posuvu na zub $f_z = 0,1$ mm



Obr. 33. Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 19 552 při posuvu na zub $f_z = 0,5$ mm



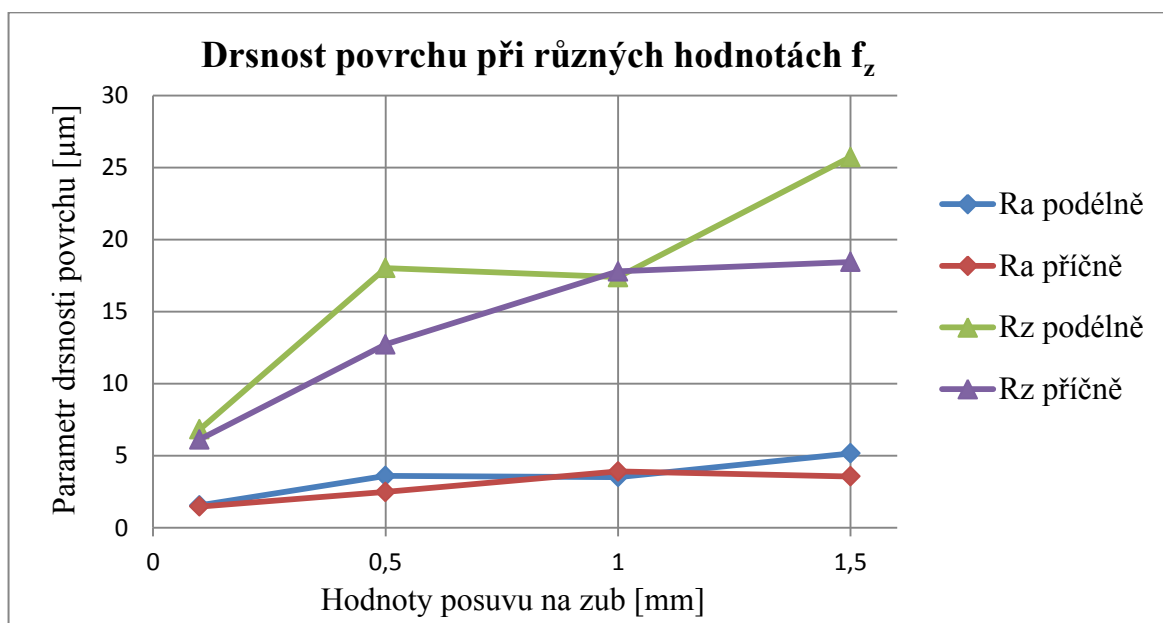
Obr. 34 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu při posuvu na zub $f_z = 1 \text{ mm}$

Z obr. 31 je stejně jako u předchozího materiálu patrný nárůst drsnosti povrchu se zvyšujícím se posuvem na zub f_z při konstantní řezné rychlosti $v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$. Klesající trend drsnosti povrchu při zvyšování řezné rychlosti se potvrdil až při posuvu na zub $f_z = 1 \text{ mm}$ (obr. 34). U ostatních hodnot posuvů na zub byl tento trend nejednoznačný.

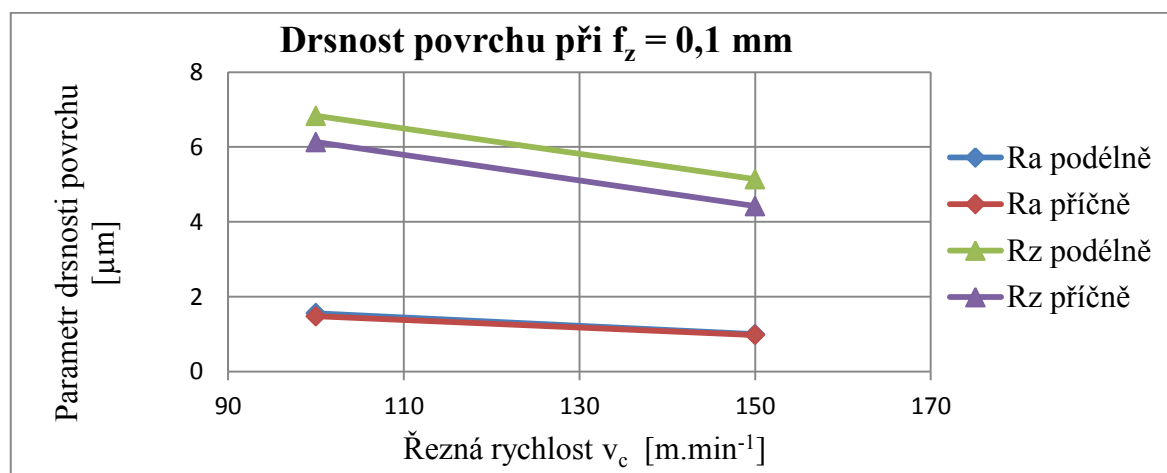
5.3 Materiál 19 573

Tab. 14 Vypočtené hodnoty parametrů drsnosti povrchu Ra a Rz u vzorků z materiálu 19 573

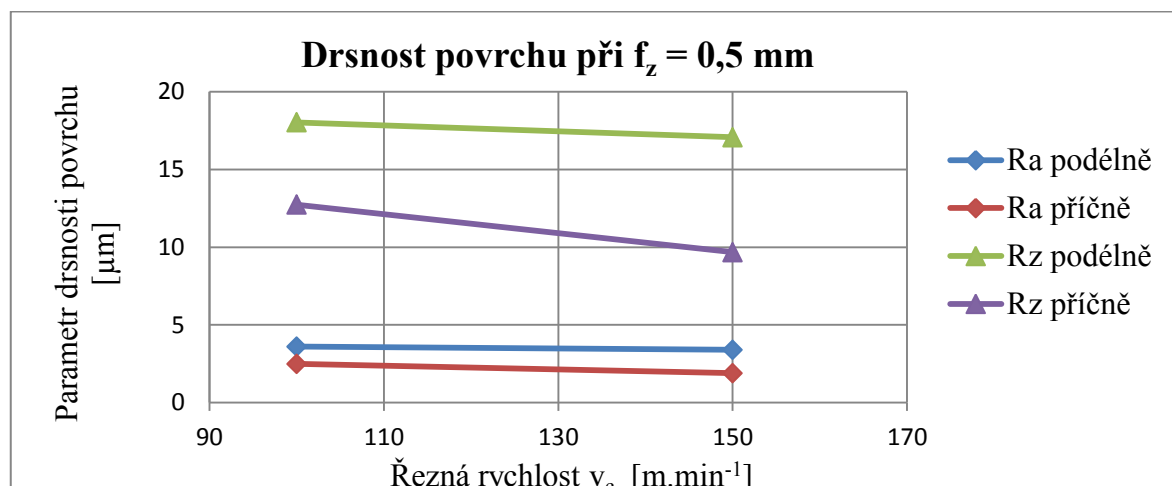
Vzorek č.	v_c [m.min^{-1}]	f_z [mm]	Parametry drsnosti povrchu			
			Podélný směr Ra [μm]	Příčný směr Ra [μm]	Podélný směr Rz [μm]	Příčný směr Rz [μm]
1	100	0,1	$1,56 \pm 0,24$	$1,56 \pm 0,14$	$6,83 \pm 0,96$	$6,32 \pm 0,45$
2		0,5	$3,6 \pm 0,4$	$2,49 \pm 0,33$	$18,03 \pm 1,5$	$12,73 \pm 1,21$
3		1	$3,52 \pm 0,65$	$3,91 \pm 0,64$	$17,4 \pm 2,42$	$17,8 \pm 2,04$
4		1,5	$5,17 \pm 1,02$	$3,57 \pm 0,64$	$25,73 \pm 5,21$	$18,45 \pm 3,57$
5	150	0,1	$1 \pm 0,23$	$0,98 \pm 0,24$	$5,14 \pm 1,07$	$4,42 \pm 0,81$
6		0,5	$3,39 \pm 0,43$	$1,89 \pm 0,29$	$17,07 \pm 2,1$	$9,68 \pm 1,62$
7		1	$3,86 \pm 0,64$	$2,81 \pm 0,69$	$20,22 \pm 3,14$	$14,88 \pm 3,32$



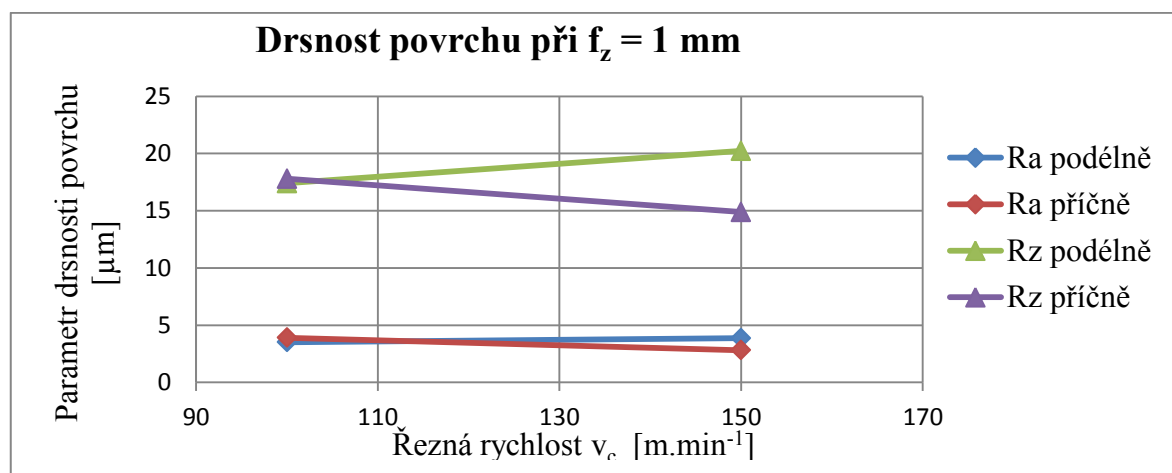
Obr. 35 Graf průměrných hodnot drsností měřených na materiálu 19 573 při konstantní řezné rychlosti $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a různých posuvech na zub f_z



Obr. 36 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 19 573 při posuvu na zub $f_z = 0,1 \text{ mm}$



Obr. 37 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 19 573 při posuvu na zub $f_z = 0,5$ mm



Obr. 38 Graf průměrných hodnot drsností měřených, jak v podélném, tak příčném směru na materiálu 19 573 při posuvu na zub $f_z = 1$ mm

U tohoto materiálu se opět potvrdil fakt, že se zvyšujícím se posuvem roste i drsnost obráběné plochy (obr. 35). Závislostem řezné rychlosti v_c na hodnoty drsnosti povrchu bych nepřikládal větší význam, protože u tohoto materiálu byly vzorky frézovány pouze dvěma řeznými rychlostmi, a to je pro určování závislosti málo. Přesto jsou pro ukázkou tyto grafy přiloženy (obr. 36, obr. 37, obr. 38).

ZÁVĚR

Vývoj v oblasti výrobní techniky a řezných materiálů, je většinou hodnocen z hlediska vlivu na produktivitu práce. Vezme-li se ale v úvahu plné využití řezivosti nových nástrojových materiálů a příkonů strojů, které jsou několikrát větší ve srovnání s klasickými, vzniká zde otázka, zda toto množství energie převedené na břit nástroje neovlivní výrazněji vlastnosti obrobeného povrchu, především jeho kvalitu.

Diplomová práce se zabývala vlivem řezných parametrů na kvalitu povrchu. V teoretické části práce byla popsána problematika stanovování drsnosti a vysokorychlostní obrábění. V experimentální části je popsán použitý stroj, nástroj, drsnoměr a řezné podmínky. Materiály použité na vzorky při experimentu byly ocel 12 050.1 (1.1191), 19 522 (1.2343) a 19 573 (1.2379). Vzorky byly opracovány pětizubou frézou s VBD od firmy ISCAR na stroji Hurco VMX30t ve spolupráci s Žilinskou univerzitou v Žilině. Měření drsnosti povrchu proběhlo v prostorách VŠB – TUO přístrojem pro měření drsnosti od firmy MITUTOYO s označením SurfTest SJ - 401. Měřenými a vyhodnocovanými parametry byly parametry drsnosti R_a a R_z v podélném i příčném směru.

Experimentální část potvrdila, že při konstantní řezné rychlosti a zvyšujícím se posuvu na zub f_z (rychlosti posuvu v_f) se zvyšuje drsnost povrchu. Tento fakt se potvrdil u všech tří materiálů. Klesající trend drsnosti povrchu při zvyšování řezné rychlosti se nijak výrazně nepotvrdil ani u jednoho z materiálů. Při frézování mohlo docházet ke změně drsnosti také otupením nástroje. Postupné opotřebení nástroje se v této práci zanedbávalo.

Z grafů zobrazujících drsnost povrchu při různých řezných rychlostech, ale při konstantním posuvu na zub je též možno vypožorovat, za jaké řezné rychlosti dosahujeme nejlepších parametrů drsnosti. U materiálů 12 050.1 (1.1191) a 19 522 (1.2343) se nejlepších parametrů drsnosti dosahuje při řezné rychlosti $v_c = 550 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Toto zjištění by nám při předepsané drsnosti na výkrese pomohlo zkrátit strojní časy při vytvoření požadované kvality povrchu.

LITERATURA

- [1] BÁTORA, B.; VASILKO, V. *Obrobené povrchy – technologická dedičnosť, funkčnosť*. Trenčín, Slovenská republika: Trenčínská Univerzita v Trenčíne ve spolupráci s vydavatelstvem GC Tech, 2000. ISBN 80-88914-19-1.
- [2] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha: STNL-nakladatelství technické literatury, 1989. 340 s.
- [3] Drsnoměry Diavite [online]. Březen 2010 [cit. 2013-3-12] Dostupný z WWW:<http://www.uzimex.cz/download.php?file=/soubory/20100318_tat_2010-03.pdf>.
- [4] Kontrolní měřky drsností frézovaných povrchů [online]. [cit. 2013-3-10]. Dostupný z WWW:<<http://www.sortetrade.cz/nabidka-stroju/prislusenstvi/>>.
- [5] Drsnost povrchu úloha č. 10 [online]. 2009 [cit. 2013-3-10]. Technická univerzita v Košicích. Dostupný z WWW:<http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha10_old.pdf>.
- [6] BUMBÁLEK, L. a kolektiv: *Kontrola a měření pro SPŠ strojní*. Praha: Nakladatelství Informatorium 2009. ISBN 978-80-7333-072-9
- [7] JENČÍK, J.: *Technická měření*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 1993.
- [8] TICHÁ, Š.: *Strojírenská metrologie. část 1* - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [9] Obráběcí stroje Hurco [online]. [cit. 2013-3-6]. Dostupné z WWW:<http://www2.hurco.com/HEL/Products/Machining_Centers/Vertical/VMX_Series/Pages/VMX%2030%20Machining%20Center.aspx>.
- [10] ISCAR [online]. [cit. 2013-3-6]. Dostupné z WWW:<<http://www.iscar.com/Ecat/item.asp?app=61&mapp=ML&fnum=1589&GFSTYP=M&tool=T&cat=3104752&lang=WZ>>.

- [11] ISCAR [online]. [cit. 2013-3-6]. Dostupné z WWW:<<http://www.iscar.com/Ecat/item.asp?GFSTYP=M&fnum=1591&tool=I&mapp=ML&cat=5604584&lang=WZ&search=Y>>.
- [12] Drsnoměr Mitutoyo SJ-401 [online]. [cit. 2013-3-6]. Dostupné z WWW:<<http://www.pacificinspection.com/html/specials.html>>.
- [13] Mitutoyo Česko s. r. o [online]. [cit. 2013-3-6]. Dostupné z WWW:<<http://www.mitutoyo.cz/produkty/pristroje-mereni-drsnosti-povrchu/>>.
- [14] Talysurf CLI [online]. [cit. 2013-4-6]. Dostupné z WWW:<http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/3-1_Hladik_Novak_Talysurf_product_family.pdf>.
- [15] Antonín Vojáček - *Profilové snímače* [online]. Červenec 2011 [cit. 2013-4-6]. Dostupné z WWW:<<http://automatizace.hw.cz/profilove-snimace-opticky-detektor-rozmeru-a-ploch>>.
- [16] Taylor Hobson [online]. [cit. 2013-4-6]. Dostupné z WWW:<<http://www.imeco-th.cz/Download/Profilomery%20bezkontakti.pdf>>.
- [17] Zeman, P, Šafek, J, [online]. [cit. 2013-4-16]. Dostupné z WWW:<<http://technik.ihned.cz/c1-11353150-technologie-hsc>>.
- [18] ESF OP VK – Centrum vzdělávání pedagogů odborných škol [online]. [cit. 2013-4-16]. Dostupné z WWW:<http://www.sps-ub.cz/ccv/projekty/vzdelavanipedagogu/vyukove_materialy.php>.
- [19] SKOPEČEK, T.; VODIČKA, J. Základy vysokorychlostního obrábění – HSC. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity v Plzni, 2005. s. ISBN 80–7043–344–2.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Naměřené a vyhodnocené parametry drsnosti povrchu a grafy

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí diplomové práce paní Ing. et Ing. Mgr. Janě Petrů, Ph.D., za její cenné připomínky, ochotu a vedení mé diplomové práce.

Také bych chtěl poděkovat paní Ing. Ševčíkové Xenii, Ph.D. za pomoc při vyhodnocování metalografie použitých ocelí.